



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PETRA MÄKELÄ
KOLMEN JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN ELINKAARIKUSTAN-
NUSTEN VERTAILU

Diplomityö

Tarkastaja: dosentti Hannu Ahlstedt
Tarkastaja ja aihe hyväksytty Luon-
nontieteiden tiedekuntaneuvoston
kokouksessa 9. syyskuuta 2015

TIIVISTELMÄ

PETRA MÄKELÄ: Kolmen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannusten vertailu
Tampereen teknillinen yliopisto
Diplomityö, 66 sivua, 24 liitesivua
Marraskuu 2015
Ympäristö- ja energiatekniikan koulutusohjelma
Pääaine: Talotekniikka
Tarkastaja: dosentti Hannu Ahlstedt

Avainsanat: elinkaarikustannukset, kaukojäähdytys, vapaajäähdytys

Rakennuksen suunnitteluvaiheessa tehdään merkittävä määrä päätöksiä, jotka vaikuttavat rakennuksen energiankulutukseen ja taloudellisuuteen koko sen käyttöiän ajan. Tässä työssä on tarkasteltu jäähdytysjärjestelmän valinnan vaikutusta elinkaarikustannusten kertymiseen ja etsitty tutkimuksen kohderakennukselle kokonaiskustannuksiltaan taloudellisin jäähdytysjärjestelmän toteutustapa. Työssä on tutkittu kolmea vaihtoehtoista jäähdytysjärjestelmää: liuoslauhdutteinen järjestelmä, järvivesilauhdutteinen järjestelmä ja kaukojäähdytys. Tutkimuskohteena on Tampereen Koukkuniemeen suunnitteilla oleva Toukola, jonne tulee sijoittumaan tehostetun palveluasumisen ryhmäkoteja 120 muistisairaalle ikäihmiselle.

Järjestelmien mitoituksessa on hyödynnetty diplomityössä laskettua Toukolan jäähdytystarvetta ja Tampereen kaupungin olemassa olevien kohteiden jäähdytysjärjestelmien tietoja. Näitä kohteita ovat Jukola-Impivaara, Sähkötalo ja Tietotalo. Työssä on laskettu Toukolan kolmelle vaihtoehtoiselle järjestelmälle niiden investointi, käyttö-, huolto-, uusimis- ja purkukustannukset ja niiden pohjalta järjestelmien elinkaarikustannukset. Elinkaarikustannukset on laskettu käyttäen nykyarvomenetelmää eli diskonttaamalla tulevien vuosien kustannukset nykyhetkeen. Laskenta on tehty kolmella eri korkokannalla 3, 5 ja 7 %, jotta voidaan verrata korkokantojen vaikutusta tuloksiin.

Laskennan perusteella korkokannalla 3 % elinkaarikustannuksiltaan edullisin järjestelmä on kaukojäähdytys. Korkokannalla 5 % kaukojäähdytyksen ja liuoslauhdutteisen jäähdytyksen elinkaarikustannukset ovat lähes samat. Korkokannalla 7 % liuoslauhdutteinen järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin. Kaikilla kolmella korkokannalla järvivesilauhdutteinen järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan kallein.

ABSTRACT

PETRA MÄKELÄ: Comparison of life cycle costs of three cooling systems

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 66 pages, 24 Appendix pages

November 2015

Master's Degree Programme in Environmental and Energy Technology

Major: Building Services Engineering

Examiner: Adjunct Professor Hannu Ahlstedt

Keywords: life-cycle costs, district cooling, free cooling

A significant part of the decisions, that influence the energy consumption and cost structure of a building throughout its entire life-cycle, are made already in the design phase. This thesis focuses on finding the most suitable cooling system for a specific building by calculating and comparing the life-cycle costs for three different cooling systems: an air-cooled system, a lake water cooled system and district cooling. The building in question is Toukola, a retirement home of 120 people that will be built in Koukkuniemi, Tampere.

The three alternative cooling systems are designed based on the calculated cooling need for Toukola and information provided by the city of Tampere about three existing cooling systems in buildings Jukola-Impivaara, Sähköotalo and Tietotalo. The life-cycle costs for the three systems are calculated based on the investments and costs of using, maintaining, renewing and disassembling the systems. When calculating the life-cycle costs, discounted cash flow analysis is used to determine the net present value of future costs. Three different interest rates (3, 5 and 7 %) are used to compare the effects of the interest rate on the results.

The results of the calculations are that with an interest rate of 3 % district cooling has the lowest life-cycle costs. With an interest rate of 5 % the life-cycle costs of the district cooling and the air-cooled system are the same. With an interest rate of 7 % the air-cooled system has the lowest life-cycle costs. With all of the three interest rates the lake water cooled system has the highest life-cycle costs.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on toteutettu Rambollilla yhteistyössä Tampereen kaupungin tilakeskuksen kanssa, jolta on saatu työn aihe ja merkittävä määrä lähdemateriaalia.

Haluan kiittää työn tarkastajaa dosentti Hannu Ahlstedtia työn tarkastamisesta, neuvoista ja ohjeista.

Rambollilta haluan kiittää Hannu Virkkusta mahdollisuudesta diplomityön tekemiseen ja diplomityön ohjauksesta sekä Mari Töröstä, Liisa Harjulaa, Eerik Mäkitaloa ja muita diplomityöhöni vaikuttaneita Rambollin työntekijöitä avusta, tuesta ja neuvoista.

Tampereen kaupungin tilakeskukselta haluan kiittää Virpi Ekholmia, Pertti Koivistoa ja Jukka Kauppista diplomityön mahdollistamisesta sekä lukuisia Tampereen kaupungin työntekijöitä lähdemateriaalin tarjoamisesta ja avusta.

Lopuksi haluan kiittää perhettäni, ystäviäni ja avopuolisoani Lauria tuesta ja kannustuksesta.

Tampereella, 12.10.2015

Petra Mäkelä

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Työn tausta	1
1.2	Työn tavoitteet ja menetelmät	2
2.	TOUKOLA.....	3
2.1	Jäähdytysjärjestelmä	4
2.2	Jäähdytystehon ja -energian tarpeen määrittäminen.....	5
3.	KOhteet	16
3.1	Jukola-Impivaara	16
3.1.1	Jukola-Impivaaran jäähdytystehon tarve.....	17
3.1.2	Jukola-Impivaaran jäähdytysjärjestelmä	17
3.1.3	Jäähdytysjärjestelmän kunnossapito	19
3.2	Tietotalo	20
3.3	Sähkötalo.....	21
4.	ELINKAARIKUSTANNUKSET	23
4.1	Yleiset periaatteet	23
4.2	Elinkaaren vaiheet	24
5.	ELINKAARIKUSTANNUSTEN LASKENTAMALLIT	28
5.1	Nykyarvomenetelmä.....	28
5.2	Käyttöiän määrittäminen.....	29
5.3	Ostoenergia	30
5.3.1	Sähköenergia	30
5.3.2	Sähkön siirto	31
5.3.3	Jäähdytysenergia	32
5.4	Elinkaarikustannusten raportointi.....	32
5.5	Laskentamallien luotettavuus, herkkystarkastelut	33
6.	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT	34
6.1	Liuoslauhdutteinen jäähdytys.....	35
6.1.1	Liuoslauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä	36
6.1.2	Liuoslauhdutteisen jäähdytysjärjestelmän kustannusrakenne	39
6.2	Järvivesilauhdutteinen jäähdytys.....	40
6.2.1	Järvivesilauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä	40
6.2.2	Järvivesilauhdutteisen jäähdytysjärjestelmän kustannusrakenne ..	44
6.3	Kaukojäähdytys	44
6.3.1	Kaukojäähdytysjärjestelmä.....	45
6.3.2	Kaukojäähdytysjärjestelmän kustannusrakenne	47
7.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU	49
7.1	Elinkaarikustannukset	49
7.1.1	Liuoslauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä	49
7.1.2	Järvivesilauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä	51

7.1.3	Kaukojäähdytys	53
7.2	Jäähdytysjärjestelmien elinkaarikustannusten vertailu	55
7.3	Tulosten tarkastelu	58
7.4	Virhetarkastelu	60
8.	YHTEENVETO	61
	LÄHTEET	63

LIITE A: TOUKOLAN ASEMAPIIRUSTUS JA POHJAPIIRUSTUKSET

LIITE B: TOUKOLAN LEIKKAUKSET JA JULKISIVUT

LIITE C: KESÄAJAN HUONELÄMPÖTILALASKENNAN LÄHTÖTIEDOT JA
TULOKSET

LIITE D: LIUOSLAUHDUTTEISEN JÄRJESTELMÄN MITOITUS

LIITE E: JÄRVIVESILAUHDUTTEISEN JÄRJESTELMÄN MITOITUS

LIITE F: KAUKOJÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

LYHENTEET JA MERKINNÄT

IDA ICE	IDA Indoor Climate and Energy -simulointiohjelma
GBC Finland	Green Build Council Finland
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti
$E_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytysenergian vuotuinen kulutus
E_{pu}	pumpun sähkön kulutus
$E_{\text{sähkö}}$	sähkön vuotuinen kulutus
$E_{\text{sähkö, päivä}}$	sähkön vuotuinen kulutus päivisin aikavälillä 07–22
$E_{\text{sähkö, yö}}$	sähkön vuotuinen kulutus öisin aikavälillä 22–07
g	ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykerroin
$g_{\text{kohtisuora}}$	kohtisuoran auringonsäteilyn kokonaisläpäisykerroin
H	investoinnin hankintahinta
H_{energia}	kaukojäähdytyksen energiamaksu
$H_{\text{energiamaksu, päivä}}$	sähkön siirron päiväenergiamaksu
$H_{\text{energiamaksu, yö}}$	sähkön siirron yöenergiamaksu
h_{pu}	pumpun nostokorkeus
$H_{\text{sähköenergia, l}}$	sähköenergian hinta tarkastelujakson ensimmäisenä vuonna
$H_{\text{sähköenergia, n}}$	sähköenergian hinta vuonna n
H_{teho}	kaukojäähdytyksen tehomaksu
i	laskentakorkokanta
i_s	vuotuinen sähköenergian hinnan nousu
K	vuotuinen kustannus
K_0	tarkasteluhetkeen diskontattu kustannus
$K_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytyksen käytön vuotuiset kustannukset
K_{kok}	n:ltä vuodelta diskontattujen kustannusten summa
K_n	n:n vuoden kuluttua aiheutuva kustannus
$K_{\text{sähkönsiirto}}$	sähkön siirron vuotuiset kustannukset
n	vuosien määrä
NA	nykyarvo
$NA_{\text{kaukojäähdytys}}$	kaukojäähdytysenergian kustannusten nykyarvo
$NA_{\text{sähköenergia}}$	sähköenergian kustannusten nykyarvo
$NA_{\text{sähkön siirto}}$	sähkön siirron kustannusten nykyarvo
$P_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysteho
P_{pu}	pumpun teho
p_{pu}	pumpun paineennosto
q_{50}	ilmanvuotoluku
Q_{jk}	jäähdytysenergia
q_v	tilavuusvirta
t_{pu}	pumpun vuotuinen käyttöaika
$V_{\text{sähkövero}}$	sähkövero
$W_{\text{jäähdytys}}$	jäähdytysjärjestelmän tarvitsema sähköenergia
ϵ_E	kylmäkerroin
ρ_v	veden tiheys

1. JOHDANTO

1.1 Työn tausta

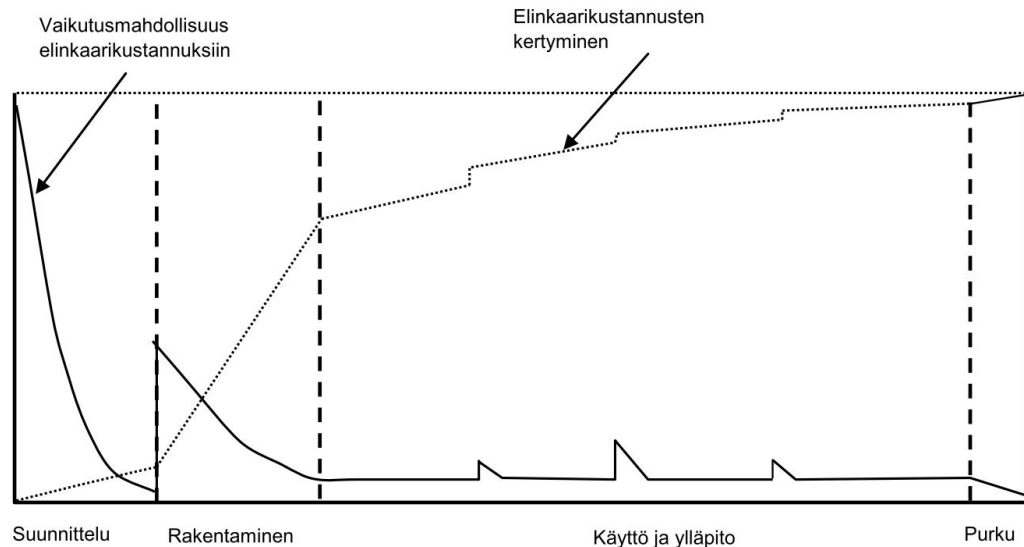
Tampereen kaupungin tavoitteena on, että Koukkuniemen alueella sijaitsee jatkossa runsaat 600 tehostetun palveluasumisen ryhmäkotiasuntoa. Tavoitteen täyttämiseksi tarvitaan uudisrakentamista ja olemassa olevien rakennusten perusparannuksia. Tavoitteena on luopua perinteisestä vanhainkotiasumisesta kokonaan vuoteen 2022 mennessä. Koukkuniemen läntistä osaa on määrä täydennysrakentaa, kun taas itäisen osan rakennukset puretaan ja tilalle rakennetaan asuinrakennuksia. [1, s. 4–5]

Yhtenä osana Koukkuniemen täydennysrakentamista on suunnitteilla rakentaa Toukola, jonne tulee sijoittumaan tehostetun palveluasumisen ryhmäkotiasuntoja 120 asukkaalle. Toukolaan on suunniteltu rakennettavan jäähdytysjärjestelmä, jolla jäähdytetään hoito- ja työtiloja. [1, s. 10] Jäähdyttämällä kiinteistöä oikein voidaan pitää sisäilman lämpötila sopivana ja tasaisena sääolosuhteista riippumatta. Sopiva lämpötila parantaa sisäilman laatua lisäten kiinteistön viihtyisyyttä ja kiinteistön käyttäjien hyvinvointia ja työtehoa.

Toukolan hankesuunnitelmassa on määritetty kohteen LVI-suunnittelun lähtökohdaksi helppokäyttöisyys, huollettavuus ja turvallisuus sekä lisäksi elinkaaritalous. Tavoitteeksi on määritetty energiatehokkaiden järjestelmien ja laitteiden valitseminen. [1, s. 9]

Suurin osa kiinteistöä koskevista päätöksistä tehdään jo ennen rakentamista ja kiinteistön valmistuttua vaikutusmahdollisuudet esimerkiksi kiinteistön energiatehokkuuteen tai taloudellisuuteen ovat selvästi rajallisemmat. Suunnitteluvaiheessa tehdyt päätökset vaikuttavat kymmenien vuosien päähän, joten tehtyjen investointien merkitys on suuri. Jäähdytystavan valinta vaikuttaa investoinnin suuruuteen, käyttöajan energiankulutukseen, kiinteistön ympäristövaikutuksiin sekä järjestelmän elinkaarikustannuksiin.

Elinkaarilaskennan avulla voidaan verrata paitsi investointeja itsessään myös eri vaihtoehtojen energia-, ylläpito ja huoltomaksuja, ja valita niiden avulla taloudellisesti paras vaihtoehto. Elinkaarikustannuksia tarkastelemalla voidaan löytää kokonaiskustannuksiltaan edullisin vaihtoehto vertaamalla kiinteistön mahdollisia toteutustapoja toisiinsa. Kuvassa 1 on havainnollistettu elinkaarikustannusten kertymistä kiinteistön eliniän aikana ja kiinteistön omistajan vaikutusmahdollisuutta elinkaarikustannusten kertymiseen.



Kuva 1. Mahdollisuudet vaikuttaa elinkaarikustannuksiin rakennushankkeen eri vaiheissa [2].

Kiinteistön investoinnissa LVI-tekniikan osuus vaihtelee rakennustyypeittäin välillä 5 – 35 % ollen yleensä 20 % luokkaa [3]. Pelkästään LVI-tekniikkaosat, sisältäen putket, koneet, kalusteet ja muut laitteet, muodostavat vajaan 10 % kokonaisinvestoinnista [4]. Tämän lisäksi LVI-tekniikan hintaan vaikuttavat muun muassa tilantarve, suunnittelutyö ja liittymät.

1.2 Työn tavoitteet ja menetelmät

Diplomityön aiheena on määrittää Toukolalle kolmen vaihtoehtoisen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset. Diplomityössä tarkasteltavat jäähdytysjärjestelmät ovat liuoslauhdutteinen järjestelmä, järvivesilauhdutteinen järjestelmä ja kaukojäähdytys. Elinkaarikustannusten lähtötietoina käytetään kolmen Tampereen kaupungin kohteen jäähdytysjärjestelmien tietoja. Järjestelmien tiedot pohjautuvat liuoslauhdutteisen järjestelmän osalta Tietotaloon, järvivesilauhdutteisen järjestelmän osalta Jukola-Impivaaraan ja kaukojäähdytyksen osalta Sähkötaloon. Järjestelmien elinkaarikustannuksia tarkastellaan 50 vuoden ajanjaksolta. Diplomityön tuloksena saadaan selville, miten Toukolan jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannuksissa voidaan säästää investoimalla oikein suunnittelu- ja rakennusvaiheessa.

Tässä diplomityössä tarkastellaan jäähdytysenergian tuottamisen elinkaarikustannuksia. Tarkastelun sisältää jäähdytyksen tuottamiseen tarvittavat laitteet ja liittymät sekä niiden investointi-, huolto-, käyttö-, uusimis- ja purkukustannukset. Jäähdytysenergian jakeluverkosto teknisestä tilasta IV-koneille ja puhallinkonvektoreille on samanlainen riippumatta siitä, mikä jäähdytysenergian tuotantomuoto valitaan. Verkon elinkaarikustannukset ovat vakiot kaikissa kolmessa tapauksessa, mistä johtuen nämä kustannukset voidaan jättää tarkastelun ulkopuolelle.

2. TOUKOLA

Toukola on Tampereelle Koukkuniemen alueelle suunnitella oleva uudisrakennus, jonne tulee sijoittumaan tehostetun palveluasumisen ryhmäkoteja 112–120 asukkaalle. Ryhmäkotien ensisijaisia asukkaita ovat vaikeasti muistisairaat ja paljon ympärivuorokautista apua tarvitsevat ikäihmiset. Ryhmäkotien lisäksi rakennuksen pohjakerrokseen tulee palvelutiloja koko Koukkuniemen alueen käyttöön. Kohteen rakentamisen on määrä alkaa maaliskuussa 2016 ja valmistua alkuvuodesta 2017. [1]

Koukkuniemen alue on toiminut vanhainkotina jo 130 vuoden ajan. Koukkuniemen alue sijaitsee noin kahden kilometrin päässä Tampereen keskustasta Näsijärven rannalla osoitteessa Rauhaniementie 19. Alueella sijaitsee Rauhaniemen sairaala, tehostetun palveluasumisen yksiköitä Jukola- ja Impivaara-taloissa sekä vanhainkodin rakennuksia. Alueen rakennukset yhdistää pääosin maan alla sijaitseva huoltotunneli. Koukkuniemen alueen kartta on esitetty kuvassa 2. [1]



Kuva 2. Koukkuniemen alueen kartta [5].

Toukola rakennetaan suurelta osin vuonna 2008 valmistuneen kaksiosaisen ravinto- ja huoltokeskuksen huoltokeskusosan päälle. Huoltokeskuksen suunnittelussa on varaudut-

tu lisäkerrosten rakentamiseen. Huoltokeskus sijaitsee pääosin maan alla samalla tasolla Koukkuniemen rakennukset yhdistävän huoltotunnelin kanssa. Huoltokeskuksen katto toimii nykyisin parkkipaikkana Urpulan, Havulan ja ravintokeskuksen välissä. [1] Toukolan asemapiirustus ja pohjapiirustukset on esitetty liitteessä A sekä julkisivut ja leikkaukset liitteessä B.

Kellarikerrokseen, joka tulee sijoittumaan nykyisen huoltokeskuksen kanssa samaan tasoon, rakennetaan väestönsuojat ja maanalaiseen huoltotunneliin liittyvä yhdyskäytävä henkilöliikenteelle. Pohjakerrokseen tulee koko Koukkuniemeä palvelevia toimintoja, kuten kahvila, kirjasto, kuntosali, saunaosasto, hammashoito, terveydenhuolto ja sosiaalitoimen palvelutila sekä yrittäjien tiloja, kuten kampaaja, hieroja ja jalkahoitaja. Lisäksi kerrokseen sijoitetaan henkilökunnan sosiaalitilat ja varastotilaa. Kerroksiin 2–5 sijoittuu yhteensä kahdeksan ryhmäkotia, joissa on kussakin 13 yhden hengen 25 m² asuntoa ja yksi kahden hengen 35 m² asunto. Kussakin asunnossa on yksi huone ja 5 m² invamitoitettu kylpyhuone. Ryhmäkodit sijaitsevat kerroksissa pareittain ja jakavat yhteisen saunaosaston. Asuntojen lisäksi ryhmäkodeissa on yhteisiä tiloja, kuten keittiöt, ruokailu-, oleskelu- ja varastotilat, vaatehuolto, henkilökunnan toimisto ja lääkejako. Kuudenteen kerrokseen sijoittuu 400 m² IV-konehuone, joka palvelee koko rakennusta. [1, s. 6–7]

Rakennukselle tavoitellaan hyvää energiatehokkuutta kiinnittämällä rakenteiden, rakennusosien ja järjestelmien valinnoissa huomiota energiankulutukseen ja kustannuksiin koko elinkaarelle. [1, s. 6] Lisäksi järjestelmien tavoitteina ovat helppokäyttöisyys, huollettavuus ja turvallisuus.

2.1 Jäähdytysjärjestelmä

Toukolan hankesuunnitelmassa on määritetty, että kohteessa pyritään saavuttamaan sisäilmastoluokka S2 hoito- ja työtiloissa. Lämpötila saa kuitenkin nousta tavoitearvojen yli hellejaksojen aikana. [1, s. 10] LVI-kortissa LVI 05-10440 Sisäilmastoluokitus 2008 määrittää, että sisäilmastoluokka 2 vastaa sisäilmastoa, jossa tilojen sisäilma on laadultaan hyvää eikä siinä esiinny häiritseviä hajuja. Sisäilman laatu ei saa heikentyä ympäröivissä tiloissa tai rakenteissa olevien vaurioiden tai epäpuhtauslähteiden johdosta. Tilojen lämpöolot ovat hyvät ja vedottomat, mutta kuumina kesäpäivinä saattaa esiintyä ylikuumenemista. [6, s. 4] Sisäilmastoluokitus 2008:ssa on määritetty sisäilmastoluokalle S2 operatiivisen lämpötilan tavoitearvoksi 24,5 ±1,0 °C, kun ulkolämpötila on yli 20 °C [6, s. 5] ja työtilojen jäähdytysjärjestelmien suunnitteluarvoksi 25 °C [6, s. 13].

Toukolan hankesuunnitelman mukaan rakennuksen jäähdytys toteutetaan varustamalla hoito- ja työtilojen tuloilmakoneet jäähdytyksellä. Lisäksi tilat, joissa lämpökuormat voivat nostaa lämpötilan liian korkeaksi, varustetaan puhallinkonvektoreilla. Jäähdytysjärjestelmään liitetään tuloilmakoneiden ja puhallinkonvektoreiden jäähdytysvesiver-

kostot omina kierto- ja säätöpiireinä. Toukolan hankesuunnitelman mukaan kohteen jäähdytys toteutetaan lähtökohtaisesti liuoslauhdutteisella vedenjäähdytyskoneella, joka varustetaan vapaajäähdytyksellä ja lataussäiliöllä. Jäähdytyskone sijoitetaan joko kellarin teknisiin tiloihin tai kuudennen kerroksen IV-konehuoneeseen. [1, s. 10]

2.2 Jäähdytystehon ja -energian tarpeen määrittäminen

Tämän diplomityön laskentahetkellä saatavilla olevat tiedot ovat hankesuunnitteluvaiheen tietoja. Toukolan suunnittelun edetessä rakennukseen voi kohdistua vielä isoja muutoksia. Koska rakennuksen suunnitelmat ovat vielä alkuvaiheessa, kohteen lopulliseen jäähdytystehon ja -energian tarpeeseen voidaan olettaa tulevan vielä muutoksia. Elinkaarikustannusten määrittämistä varten lasketaan jäähdytystehon ja -energian tarve yhdelle rakennuksen vaihtoehtoiselle toteutustavalle, jotta saadaan oikeaa suuruusluokkaa olevat arvot. Jäähdytystarpeen laskennan kannalta erityisen merkittäviä ovat muun muassa muutokset ikkunoiden sijainteihin ja kokoihin.

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (2012) kohdassa 2.2 on esitetty vaatimuksia rakennusten lämpöoloille. Määräysten mukaan viihtyisä huonelämpötila tulee saavuttaa oleskeluvyöhykkeillä käyttöaikana ilman, että energiaa käytetään tarpeettomasti. Kohdan 2.2.1.2 mukaan oleskeluvyöhykkeen lämpötila ei saa yleensä olla korkeampi kuin 25 °C, ja kohdan 2.2.1.3 mukaan ulkoilman lämpötilan ollessa korkeampi kuin 20 °C sisälämpötila saa ylittää ulkoilman lämpötilan viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvon korkeintaan 5 °C. Kohdan 2.2.1.5 mukaan lämpöolojen ylläpidon suunnittelu voidaan toteuttaa hyödyntäen joko osan D3 (2012) liitteen 2 testivuotta tai mitoittaen annettujen ulkoilman lämpötilan ja entalpian arvojen perusteella. [7 s. 5–6]

Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) kohdan 2.2.1 mukaan rakennukset on suunniteltava ja rakennettava niin, etteivät tilat lämpene haitallisesti. Ylilämpenemisen välttämiseksi tulee käyttää ensisijaisesti passiivisia keinoja ja tehostettua ilmanvaihtoa yöllä. Kohdan 2.2.1.1 mukaan huonelämpötila ei saa ylittää kohdassa 3.2.1 esitettyä jäähdytysrajan arvoa yli 150 astetuntia kesä-elokuun välisenä aikana. [8, s. 9] Toukola kuuluu rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) liitteen 1 mukaan rakennusten käyttötarkoituksiluokkaan 5 majoitusliikerakennukset [8, s. 28]. Rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) kohdan 3.2.1 mukaan energialaskennassa majoitusliikerakennusten jäähdytysrajana käytetään arvoa 25 °C [8, s. 18].

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) kohdan 5.2.2 mukaan Toukolan kaltaisten rakennusten, joissa on jäähdytystä enemmän kuin vain yksittäisissä tiloissa, jäähdytysenergian laskenta tulee suorittaa dynaamisella laskentatyökalulla. [8, s. 27] Dynaamisen laskennan avulla voidaan ottaa huomioon hetkellisen lämpökuorman lisäksi rakenteisiin varastoitunut energia ja sen vaikutus jäähdytystarpeeseen. Dynaamisessa laskennassa tarkastellaan lämpötiloja ja jäähdytystarvetta tunnikohtaisesti yhden vuoden ajalta. Dynaamisen laskennan avulla saadaan määritettyä tilakohtainen jäähdytystehon

ja -energian tarve. Tätä diplomityötä varten laskenta on tehty simulointiohjelmalla IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE). [9]

Laskenta on tehty rakentamismääräyskokoelman osien D2 (2012), D3 (2012) ja D5 (2012) määräysten mukaisesti. Tarkempi ohjeistus dynaamiseen laskentaan on annettu oppaassa D3 laskentaopas – Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen [10].

Dynaamisen laskennan avulla on osoitettava, että kesäajan huonelämpötiloille asetetut ehdot täyttyvät. Osan D3 (2012) kohdan 2.2.3 mukaan huonelämpötilojen vaatimuksenmukaisuus tulee osoittaa tilatyypeittäin lämpötilalaskennalla. [8, s. 10] Kullekin tilatyypille valitaan huone, jolle on suurin riski ylikämpenemiselle. Tällaisia tiloja ovat pienet huoneet, etelä- ja länsisivuilla olevat huoneet sekä huoneet, joissa on suuret ikkunapinta-alat. Laskennalla on varmistettava, että tilojen kesäajan lämpöolosuhteet täyttävät määräykset sekä rakennustyyppin standardoidulla käytöllä että tilatyyppin suunnitellulla käytöllä. [10, s. 8]

Tässä diplomityössä tarkasteltaviksi tilatyypeiksi valitaan asuinhuone, oleskelutila, lääketila, hammashoito ja kirjasto. Mallihuoneista hammashuolto ja kirjasto sijaitsevat ensimmäisessä kerroksessa. Mallihuoneet tilatyypeille asuinhuone, ruokailutila ja lääketila valitaan viidennen kerroksen huoneista, joita ympäröivät rakennukset varjostavat vähiten ja joihin siksi kohdistuu alempia kerroksia suurempi määrä auringonsäteilyä. Valitut huoneet on merkitty liitteessä A oleviin arkkitehtikuviin. Kullekin mallihuoneelle tarkastelu tehdään sekä määräysten mukaisilla lämpökuormilla että mahdollisimman todenmukaisilla kuormilla.

Toukolalle jäähdytystarpeen laskenta on tehty yksittäisten tilojen lisäksi koko rakennukselle, jotta on voitu mitoittaa jäähdytysjärjestelmä. Kesäajan lämpöolosuhteiden täyttämisen lisäksi IDA ICE:lla tehdystä mallista saadaan IV-koneen jäähdytystehon ja -energian tarve, huonelaitteiden jäähdytystehon ja -energian tarve sekä kuukausikohtainen jäähdytystehon ja -energian tarve. Ohjelmasta IDA ICE löytyy valmiiksi rakentamismääräyskokoelman D3 (2012) mukaiset arvot majoitusliikerakennuksen energialaskennalle. Laskennassa on käytetty suoraan määräysten mukaisia arvoja, ellei toisin ole mainittu. D3 laskentaoppaassa on esimerkkitaulukot lähtötietojen ja keskeisten tulosten esittämiseksi. Diplomityön laskennan lähtötiedot on esitetty näistä esimerkkitaulukoista muokatuissa taulukoissa. Dynaamisessa laskennassa tulee ottaa huomioon rakennuksen muoto, rakenteet, talotekniikka ja sisäiset lämpökuormat [10, s. 9]. Seuraavaksi on käyty läpi kohta kohdalta näiden osioiden lähtötiedot.

Muoto

Dynaamisessa laskennassa on käytetty lähtötietona arkkitehtitoimisto Sipark Oy:ltä saatua kohteen IFC-mallia. Laskennassa on otettu huomioon rakennuksen oma muoto ja parvekkeet varjostavina elementteinä. Myös ympäröivät rakennukset Urpula, Varpula ja

Havula, joiden sijainti on esitetty asemakuvassa liitteessä A, on otettu huomioon laskennassa varjostavina elementteinä. Huoltokeskus, jonka päälle Toukola rakennetaan, on otettu huomioon laskennassa olettamalla, että huoltokeskuksessa on vakiosisälämpötila 21 °C.

Rakenteet

Toukolan hankesuunnitelmaan kuuluvan energiaselvityksen mukaan rakennukseen valitaan ikkunat, jotka estävät aurinkoenergian läpäisyn mahdollisimman tehokkaasti ja joiden U-arvo on luokkaa 0,8–1,0 W/(m²K). Muiden rakenteiden osalta on määritetty, että niiden U-arvojen tulee olla vähintään määräysten mukaiset. Lisäksi energiaselvityksen mukaan hyödynnetään passiivista suojausta rakenteiden avulla. Energiaselvityksen mukaan rakennus tulee rakentaa niin ilmatiiviiksi, että ilmanvuotoluku q_{50} on luokkaa 1,0 m³/h m². [1, s. 15]

Rakenteiden tarkat U-arvot eivät ole vielä tiedossa, mistä johtuen laskennassa käytetään rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisia rakennusten vertailulämpöhäviöiden laskennassa käytettäviä rakenteiden U-arvoja [8, s. 13] ja rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) mukaisia arvoja kylmäsilloille [11, s. 17]. D3 laskentaoppaan ohjeistuksen mukaan kesäajan huonelämpötilojen tarkastelussa ilmanpitävyydelle ei oteta huomioon tuulen painetta, vaan sille käytetään vakioarvona suunnitteluarvoa [10, s. 11].

Jäähdytystarpeen laskennassa ikkunoiden merkitys on suuri. Ohjelma laskee auringon säteilytehon kohteelle ottaen huomioon, että auringon asema ja päivien pituus vaihtelevat vuoden mittaan. Ikkunoille käytetään laskennassa osan D3 (2012) mukaista U-arvoa 1,0 W/(m²K) [8, s. 13]. Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimelle g ei ole määritetty Toukolan hankesuunnitelmassa erikseen arvoja. Hankesuunnitelmassa on kuitenkin määritetty, että lasirakenteen tulee estää aurinkoenergian läpäisy mahdollisimman tehokkaasti. Valitaan ikkunoille g -arvo, joka vastaa auringonsuojalasi-arvoa. Ikkunan valoaukon auringon kokonaissäteilyn läpäisykertoimelle käytetään arvoa $g = 0,38$. Ikkunan karmien oletetaan kattavan 10 % ikkuna-aukon pinta-alasta.

D3 laskentaoppaan ohjeistuksen mukaan avattavien rakenteiden kuten ovien ja ikkunoiden aukioloa ei saa ottaa huomioon laskennassa ilmanvaihdon tehostustoimenpiteenä. Ohjeistuksen mukaan auringonsuojaratkaisujen kuten sälekaihtimien voidaan olettaa olevan käytössä koko tarkastelujakson ajan. Sälekaihtimet otetaan huomioon laskennassa 100 % peittoasteella ja 45° kulmassa aurinkoa vasten. [10, s. 10–11]

Talotekniikka

Rakentamismääräyskokoelman osan D2 (2012) kohdassa 2.2 esitetyt vaatimukset koskevat oleskeluvyöhykkeiden lämpöolosuhteita. Muille alueille kuin oleskeluvyöhykkeille ei vastaavia raja-arvoja ole asetettu. Tästä johtuen Toukolan tiloista vain oleskeluun

tarkoitettujen tilojen tuloilmaa on tarvetta jäähdyttää. Muita tiloja, joiden tuloilmaa ei jäähdytetä, ovat esimerkiksi saunaosastojen tilat, henkilökunnan sosiaalitilat, varastot, porrashuoneet ja väestönsuojat. Dynaamisessa laskennassa kohteelle määritetään kaksi IV-konetta: yksi, jossa ei ole ollenkaan jäähdytystä, ja toinen, joka jäähdyttää tuloilman lämpötilaan 17 °C. Hankesuunnitelmassa ei ole määritetty, että IV-kanavistoa olisi eristetty, joten sen oletetaan olevan eristämätön. D3 laskentaoppaan ohjeistukseen perustuen molempien IV-koneiden osalta on määritetty, että tuloilma lämpimää 1 °C puhaltimessa ja 1 °C eristämättömässä tuloilmakanavistossa [10, s. 11] siten, että jäähdytyksellä varustetun IV-koneen tuloilman lämpötila on aina 19 °C. Todellisuudessa kohteeseen saattaa tulla useampi kuin kaksi IV-konetta, mutta tällä ei ole vaikutusta laskennan tuloksiin. Rakennuksen käyttäjistä merkittävä osa on iäkkäitä ja kylmälle herkkiä, mistä johtuen tuloilman lämpötilaksi on mitoitettu 19 °C vedon tunteen välttämiseksi.

Rakennuksen käyttö on ympärivuorokautista, joten myös ilmanvaihto on päällä tasaisesti ympäri vuorokauden. Laskennassa tiloille määritetään rakentamismääräyskokoelman osan D2 liitteen 1 taulukoiden 1–11 mukaiset ilmamäärät. [7, s. 25–31] Poikkeuksena asuinhuoneiden tuloilman määräksi valitaan 1 l/(sm²) lämpötilojen hallinnan helpottamiseksi ja viihtyvyyden lisäämiseksi. Keittiöiden osalta oletetaan, että ne ovat jakelu-keittiöitä, joille ilmamäärät ovat +5,0/-5,0 l/(sm²).

Tiloihin, joissa on erityisen suuri jäähdytyksen tarve tai joiden osalta sopivan lämpötilan ylläpitäminen on erityisen tärkeää, sijoitetaan puhallinkonvektorit. Laskenta tehdään ensin ilman jäähdytyslaitteita, jotta saadaan selville, mihin tiloihin laitteet on tarve sijoittaa.

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) kohdan 5.4 mukaan lämpimän käyttöveden kierron häviöistä puolet lasketaan lämpökuormaksi, kun häviöt on laskettu kohdan 6.3 mukaan. [11, s. 33] Oletetaan kiertojohdolle hyvä lämmöneristys. Kohdan 6.3.3 mukaan kiertojohdon lämpöhäviön ominaisteholle voidaan käyttää arvoa 8 W/m, jos eristystaso on suojaputki ja 0,5 kertaa eristettävän putken halkaisija. Taulukon 6.5 mukaan majoitusliikerakennuksen kiertojohdon ominaispituutena voidaan käyttää 0,043 m/m². [11, s. 42–43] Tällöin kiertojohdon lämpökuormaksi saadaan $8 \text{ W/m} \cdot 0,043 \text{ m/m}^2 \cdot 0,5 = 0,17 \text{ W/m}^2$.

Laskentasää

Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) kohdan 3.1.1 mukaan kesäajan huone-lämpötilojen laskenta tehdään osan D3 (2012) liitteen 2 säävyöhykkeen 1 säätiedoilla. Laskenta tehdään siis Vantaan testivuoden säätiedoilla TRY2012, jotka perustuvat Helsinki-Vantaan säähavaintoaseman pitkän aikavälin mittauksiin. Testivuodelle määritetyt tuntikohtaiset tiedot sisältävät ulkoilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden, tuulen suunnan ja nopeuden, suoran säteilyn kohtisuoralle pinnalle, hajasäteilyn vaakapinnalle ja kokonaissäteilyn vaakapinnalle. [12]

Lämpökuormat

Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) taulukossa 3 on esitetty eri käyttötarkoituksiluokkien rakennuksien standardikäyttö ja sisäiset lämpökuormat nettoalaa kohti. Majoitusliikerakennuksille käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa ja 7 päivää viikossa, käyttöaste 0,3 sekä lämpökuormat valaistukselle 14 W/m^2 , kuluttajalaitteille 4 W/m^2 ja ihmisille 4 W/m^2 . [8, s. 19] Vaihtoehtoisesti henkilöiden lämpökuorma voidaan laskea henkilötiheyden perusteella, jolloin käytetään yhden henkilön kokonaislämmönluovutuksena 125 W ja taulukon 4 mukaista henkilötiheyttä majoitusliikerakennuksille $1/21 \text{ hlö/m}^2$. [8, s. 20] Tässä diplomityössä lämpökuorma ihmisistä on laskettu henkilötiheyttä käyttäen.

D3 laskentaoppaan ohjeistuksen mukaan lämpökuormat voidaan ottaa huomioon joko standardikäyttönä tai todellista käyttöä kuvaavana käyttöprofiilina. Todellista käyttöä mallinnettaessa yhden vuorokauden lämpökuorman on kuitenkin vastattava standardikäytön kuormien summaa. [10, s. 11] Kuormien voidaan siis olettaa ajoittuvan esimerkiksi kahdeksan tunnin ajalle siten, että niiden teho on kolminkertainen suhteessa koko vuorokaudelle jaettuun kuormaan.

Tässä diplomityössä on ensin tehty laskenta standardikäytön kuormilla, jotta on voitu varmistua, että kesäajan huonelämpötilojen vaatimukset täyttyvät. Tämän jälkeen laskenta on tehty todellista käyttöä vastaavilla kuormilla, jotta on saatu mahdollisimman todenmukainen jäähdytystehon ja -energian tarve.

Kesäajan huonelämpötilalaskennan tulokset

Liitteessä C on esitetty kesäajan huonelämpötilan laskennan kootut lähtötiedot ja tulokset. Kaikille viidelle tilatyypille huonelämpötilat ylittävät sallitun 25 °C lämpötilan alle 150 astetunnilla ja täyttävät siis määräykset.

Jäähdytyslaitteella varustettavien tilojen määrittäminen

Todellisen jäähdytystehon ja -energian laskennassa otetaan huomioon tilojen käyttötarkoitukset ja käytetään sellaisia arvoja, jotka kuvaavat kunkin tilan käyttöä mahdollisimman todenmukaisesti. Kohteen suunnittelu on laskenta-ajankohtana vielä toteutus-suunnittelun alkuvaiheessa, mistä johtuen tarkkoja arvoja ei ole tiedossa. Laskennan arvot perustuvat kokemuspohjaiseen tietoon.

Lääkejakotiloihin tulee sijoittumaan lääkekaapit, joiden tarkka lämpökuorma ei ole tiedossa. Jotta lääkejakotilojen lämpötilan säätelyyn saadaan varmuutta, lämpökuormaksi mitoitetaan 60 W/m^2 . Lääkekaapin kompressorit käyvät vain osan ajasta, joten laitteiden lämpökuorman käyttöprofiiliksi valitaan käyttöaste 1 puolen tunnin ajan joka toinen tunti ja muulloin käyttöaste 0. Henkilöiden ja valaistuksen lämpökuormille käytetään standardikäytön mukaisia arvoja. Huuhteluhuoneisiin tulee sijoittumaan huuhtelu- ja

desinfiointikoneet, joilla desinfioidaan välineitä 90 °C lämpötilassa. Impivaarassa on käytössä DEKO 190 LC huuhtelu- ja desinfiointikone, jolle lämmönluovutus on 800 W [13, s. 7]. Mitoitetaan Toukolaan kuhunkin 8 m² huuhteluhuoneeseen yksi lämpökuormaltaan 800 W huuhtelu- ja desinfiointikone, jolloin lämpökuormaksi saadaan 100 W/m². Arvioidaan huuhtelu- ja desinfiointikoneelle käyttöasteeksi 0,3. Mitoitetaan pohjakerroksen välinehuoltoon sama 100 W/m² lämpökuorma ja käyttöaste 0,3. Vaatehuoltotiloihin tulee sijoittumaan pesukoneita ja kuivausrumpuja, joiden lämpökuormat ovat merkittävät. Arvioidaan laitteiden lämpökuormaksi 50 W/m² ja käyttöasteeksi 0,3. Teknisistä tiloista teletilan lämpökuormat ovat merkittävät. Arvioidaan lämpökuormiksi 100 W/m² ja käytetään muuten standardikäytön mukaisia arvoja.

Osalle tiloista oletetaan henkilötiheyksien poikkeavan osan D3 (2012) arvosta 1/21 hlö/m². Poikkeavat henkilötiheydet lasketaan olettaen, että oleskelutilassa ja ruokailutilassa on 15 henkilöä, kahvilassa 10 henkilöä, liiketiloissa, sosiaalitoimen palvelutiloissa ja toimenpidehuoneessa 2 henkilöä, hammashoidon tiloissa 3 henkilöä, taukokuoneessa ja neuvotteluhuoneessa 12 henkilöä ja kirjastossa ja kuntosalilla 25 henkilöä. Lisäksi oletetaan, että näistä tiloista kahvila, liiketilat, sosiaalitoimen palvelutilat, hammashoito, välinehuolto, toimenpidehuone, lepohuone, neuvotteluhuone, kuntosali ja kirjasto ovat käytössä puolet ajasta eli 07:00–19:00 kaikkina viikonpäivinä. Jotta lämpökuormien summa pysyy vakiona, valitaan kaksinkertainen käyttöaste 0,6. Laskennassa käytetyt tilojen todenmukaiset kuormat ja käyttöaikataulut on listattu taulukossa 1.

Taulukko 1. Eri tilatyyppeiden tuloilmavirrat, henkilötiheydet, valaistuksen ja laitteiden lämpökuormat ja käyttöasteet.

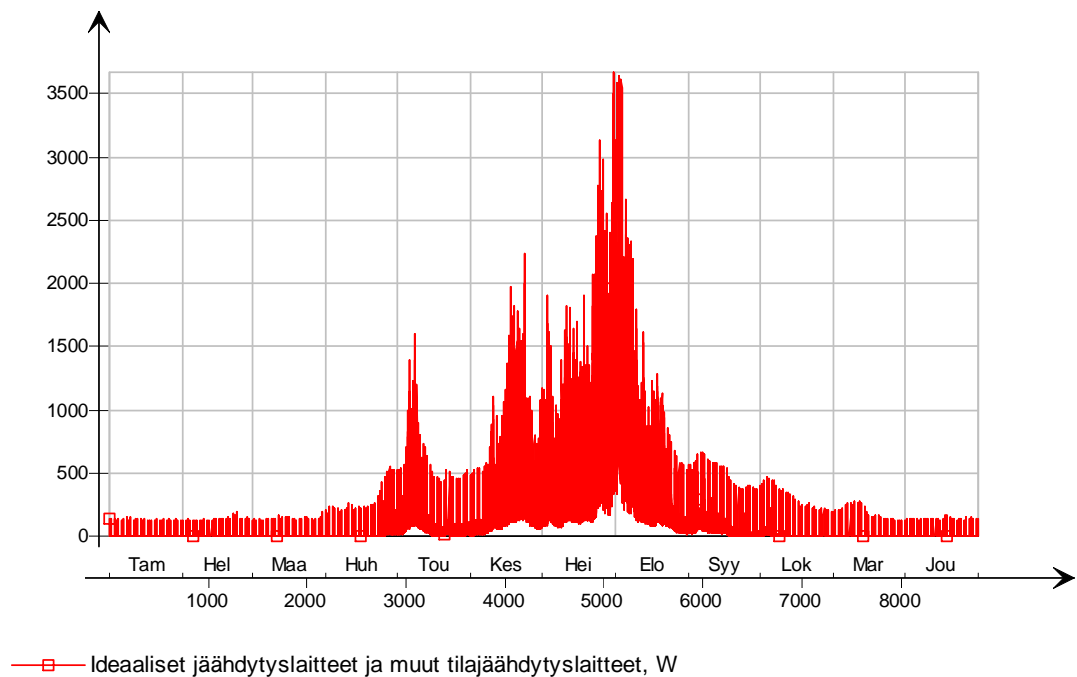
Tilatyypit	Tuloilma- virta (l/(s·m ²))	Henkilöt (hlö/m ²)	Valaistus (W/m ²)	Laitteet (W/m ²)	Käyttöaste
Asuinhuoneet	1,0	0,05	14	4	0,3
Oleskelutilat	1,5	0,5	14	4	0,3
Ruokailu	5,0	0,5	14	4	0,3
Keittiöt	5,0	0,05	14	4	0,3
Toimistot	1,5	0,05	14	4	0,3
Lääkejako	1,5	0,05	14	60	0,3
Käytävät	0,5	0,05	14	4	0,3
Vaatehuolto	5,0	0,05	14	50	0,3
Huuhtelu	7,0	0,05	14	100	0,3
Kahvila	5,0	0,5	14	4	0,6
Liiketilat	2,0	0,13	14	4	0,6
Sosiaalitoimen palvelutilat	1,5	0,13	14	4	0,6
Hammashoito	3,0	0,15	14	4	0,6
Välinehuolto	5,0	0,05	14	100	0,6
Toimenpidehuo- ne	3,0	0,08	14	4	0,6
Lepohuone	2,0	0,05	14	4	0,6
Taukokuone	5,0	0,5	14	4	0,3
Neuvotteluhuone	4,0	0,5	14	4	0,6
Kuntosali	6,0	0,23	14	4	0,6
Kirjasto	2,0	0,25	14	4	0,6
Tele	1,5	0,05	14	100	0,3

Laskenta suoritetaan ilman huonekohtaisia jäähdytyslaitteita, jotta nähdään, mihin huoneisiin laitteet tarvitaan. Tuloksena saadaan selville, että aikavälille 1.6.–31.8., osan tiloista astetunnit nousevat yli 150. Tilat ja niitä vastaavat astetunnit ovat teletila 3 242 °Ch, lääkejakotilat 2 433 °Ch ja välinehuolto 614 °Ch.

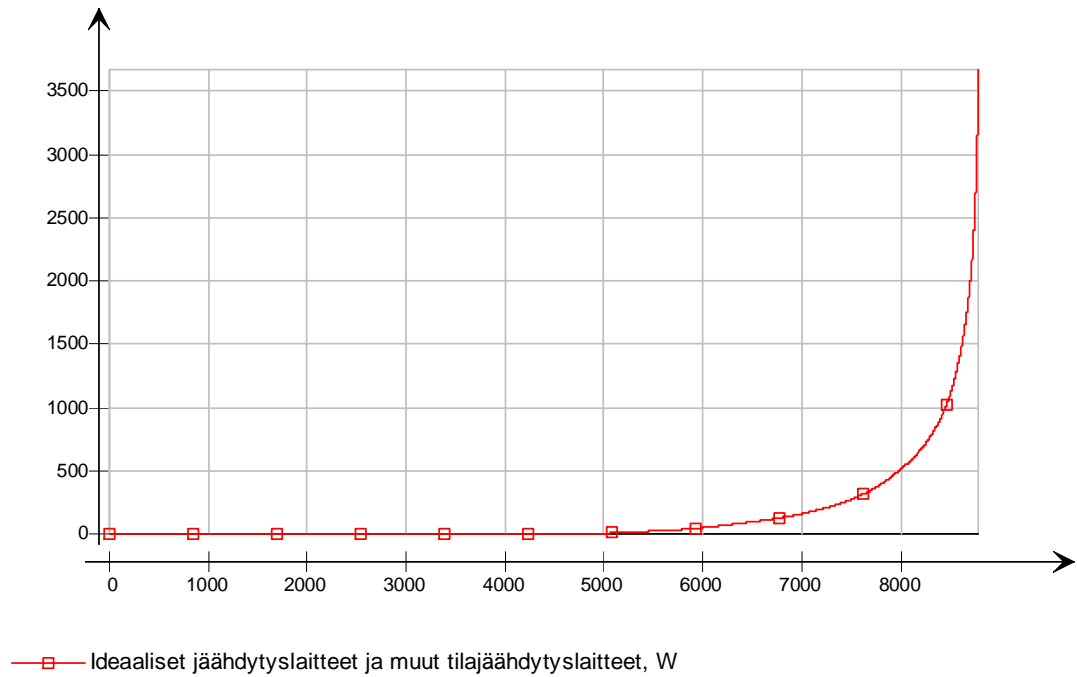
Astetuntirajat ylittäviin tiloihin eli teletilaan, välinehuoltoon ja kahdeksaan lääkejakotilaan sijoitetaan laskennassa huonekohtaiset ideaaliset jäähdytyslaitteet. Astetuntirajojen alittamista ei ole tarvetta tarkistaa uudestaan tekemällä laskenta vain kesäajalle, sillä ideaaliset jäähdytyslaitteet kattavat koko jäähdytystehon tarpeen ja huoneiden lämpötilat eivät nouse yli 25 °C.

Jäähdytystehon ja -energian tarpeen laskennan tulokset

Laskenta suoritetaan koko testivuodelle TRY2012 ja tuloksena saadaan erikseen huonelaitteiden ja IV-koneen jäähdytystehot ja -energiat. Ohjelmasta IDA ICE saadaan koko vuodelle jäähdytystehot kuvaajina sekä tuntikohtaiset tehot ja energiat Excel-tiedostona. Kuvassa 3 on esitetty huonelaitteiden jäähdytystehon tarve koko testivuodelle ja kuvassa 4 huonelaitteiden jäähdytystehon pysyvyyskäyrä.



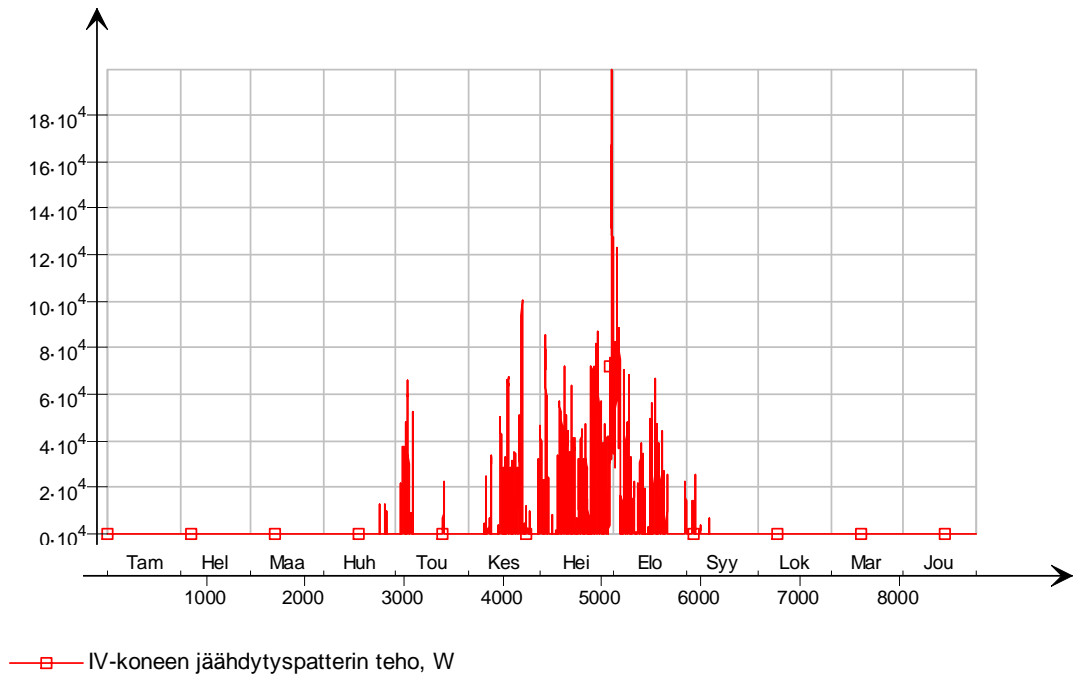
Kuva 3. Huonelaitteiden jäähdytystehot Vantaan testivuodella TRY2012 laskettuna.



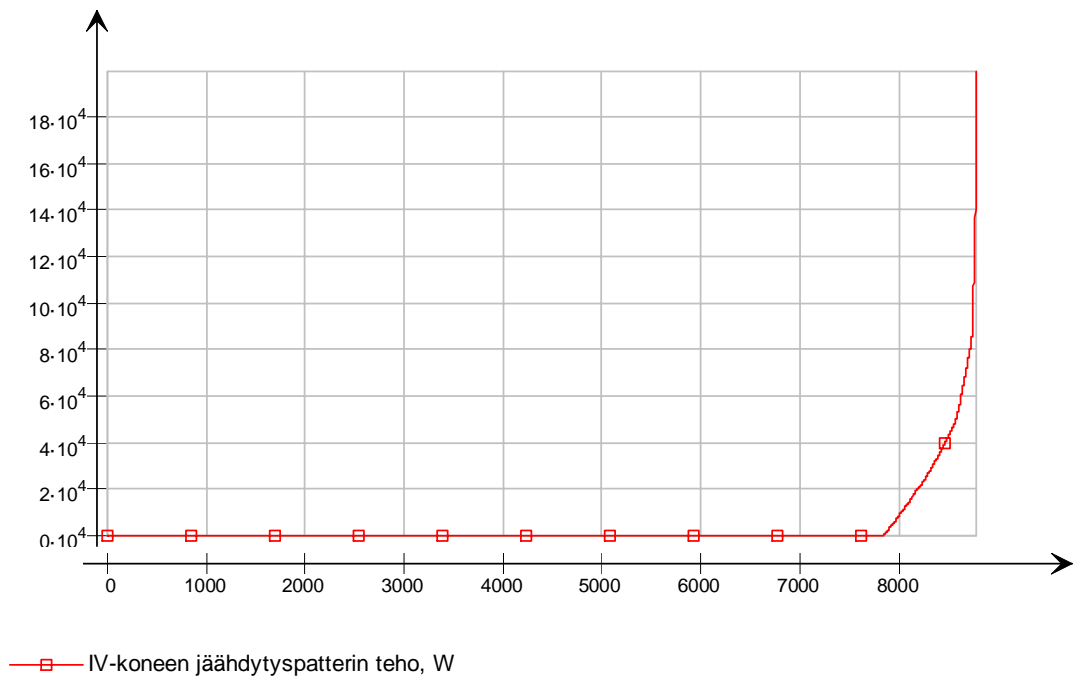
Kuva 4. Huonelaitteiden jäähdytystehon pysyvyyskäyrä.

Kuvasta 3 nähdään, että jäähdytystehon tarvetta esiintyy huonelaitteille ympäri vuoden. Suurin jäähdytystehon tarve ajoittuu heinä-elokuulle. Yksittäisiä tehopiikkejä esiintyy kuitenkin myös huhti- ja toukokuussa sekä syys- ja lokakuussa. Marraskuun alusta maaliskuun loppuun jäähdytystehon tarve pysyy kuukausitasolla vakiona. Ohjelman IDA ICE tuntikohtaisista tuloksista saadaan huonelaitteiden maksimitehoksi välinehuollolle 1 150 W, teletilalle 460 W ja lääkejako tiloille 240–280 W. Kuvan 4 pysyvyyskäyrästä arvioidaan, että huonelaitteille ilmenee jäähdytystehon tarvetta noin 3 800 h vuodessa.

Ohjelman IDA ICE tuloksista nähdään, että jäähdytyspatterilla varustetulle IV-koneelle tuloilmavirta on yhteensä 8 100 l/s. Kuvassa 5 on esitetty IV-koneen jäähdytyspatterin tuntikohtaiset tehot testivuoden ajalle ja kuvassa 6 IV-koneen jäähdytystehon pysyvyyskäyrä.



Kuva 5. IV-koneen jäähdytysteho Vantaan testivuodella TRY2012 laskettuna.



Kuva 6. IV-koneen jäähdytystehon pysyvyyskäyrä.

Kuvasta 5 nähdään, että IV-koneen jäähdytystehon tarve ajoittuu huhtikuun ja syyskuun välille ja että muina kuukausina tuloilmaa ei ole tarvetta jäähdyttää lainkaan. Kuvasta nähdään, että suurin piikki jäähdytystehossa sijoittuu testivuoden heinä-elokuun vaih-

teelle. Kuvasta 6 nähdään, että tuloilmalle jäähdytystehon tarvetta esiintyy noin 1 000 h/vuodessa.

Taulukko 2. Huonelaitteiden ja IV-koneen kuukausittaiset tehot ja energiat.

Kuu- kausi	Maksimi- jäähdy- tysteho IV, (W)	Jäähdy- tysenergia IV, (kWh)	Maksimi- jäähdy- tysteho huonelait- teet, (W)	Jäähdy- tysenergia huonelait- teet, (kWh)	Teho yh- teensä, (W)	Energia yhteensä, (kWh)
Tammi	0	0	154	1	154	1
Helmi	0	0	191	1	191	1
Maalis	0	0	205	1	205	1
Huhti	13 022	131	557	11	13 579	142
Touko	65 725	1 955	1 598	93	67 323	2 048
Kesä	100 452	4 647	2 236	212	102 688	4 859
Heinä	199 666	15 445	3 672	492	203 338	15 937
Elo	122 764	9 876	3 644	424	126 408	10 300
Syys	25 478	228	660	46	26 138	274
Loka	0	0	468	6	468	6
Marras	0	0	282	1	282	1
Joulu	0	0	168	1	168	1
Koko vuosi	199 666	32 282	3 672	1 289	203 338	33 571

Taulukossa 2 on esitetty kuukausikohtaiset maksimijäähdytystehot ja jäähdytysenergiat IV-koneelle ja huonelaitteille erikseen ja yhteensä. Tuloksista nähdään, että maksimijäähdytystehon tarve on tuloilmalle 199,7 kW ja huonelaitteille 3,7 kW eli koko jäähdytysjärjestelmälle 203 kW. Koko rakennuksen jäähdytysenergian tarve on 33 600 kWh/vuosi, josta 32 300 kWh/vuosi koostuu tuloilman jäähdytysenergian tarpeesta ja 1 300 kWh/vuosi huonelaitteiden jäähdytysenergian tarpeesta.

3. KOHTEET

Tässä diplomityössä Toukolalle tarkastellaan kolmen vaihtoehtoisen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannuksia. Jäähdytysjärjestelmien investointi- ja käyttökustannusten lähtötietoina käytetään kolmen Tampereen kaupungin kohteen olemassa olevien jäähdytysjärjestelmien tietoja. Tiedot pohjautuvat perinteisen jäähdytyksen osalta kaupungin virastotalo Tietotaloon, vapaajäähdytyksen osalta Koukkuniemessä sijaitsevaa Jukola-Impivaaraan ja kaukojäähdytyksen osalta Tampereen sähkölaitoksen toimitiloihin niin kutsuttuun Sähkötaloon. Tässä luvussa esitellään kohderakennukset ja niiden jäähdytysjärjestelmiin liittyvät tiedot.

3.1 Jukola-Impivaara

Jukola-Impivaara on Koukkuniemessä sijaitseva kaksiosainen rakennus, jossa sijaitsee tehostetun palveluasumisen ryhmäkoteja yhteensä 140 asukkaalle. Impivaara rakennettiin Jukolan perusrakennuksen yhteydessä vuonna 2013 ja talot on liitetty toisiinsa yhdyskäytävällä. [14] Jukola-Impivaara on esitetty etelästä kuvattuna kuvassa 7 ja sen sijainti Koukkuniemen alueen kartassa kuvassa 2.



Kuva 7. Jukola-Impivaara.

Kuvassa 7 vasemmalla puolella sijaitsee Jukola ja oikealla Impivaara. Vuonna 1957 rakennetun Jukolan huoneala on 4 914 m^2 ja bruttoala 5 718 m^2 . Impivaaran huo-

neala on puolestaan 4 750 m^2 ja bruttoala 5 527 brm^2 . Impivaarassa on tehostetun palveluasumisen ryhmäkoteja 69 asukkaalle eli 59 kappaletta yhden hengen 24 m^2 asuntoja ja 5 kappaletta kahden hengen 30 m^2 asuntoja. Jukolassa asukaspaikkoja on yhteensä 71 eli 63 kappaletta yhden hengen 20 m^2 asuntoja ja 4 kappaletta kahden hengen 32 m^2 asuntoja. Jokaisessa asunnossa on 5 m^2 kylpyhuone. Kuten Toukolassa, kussakin kerroksessa sijaitsee kaksi ryhmäkotia ja niihin liittyvät yhteiset tilat. [14]

Jukola-Impivaaran toteutussuunnitelmassa on määritetty kohteelle tavoitteeksi sisäilmastoluokka S2 hoito- ja työtiloissa [14, s. 10]. Kuten luvussa 2.1 on esitetty, tämä tarkoittaa, ettei sisälämpötila saa kesällä nousta yli 25 °C kuin hetkellisesti. Jotta lämpötila saadaan pidettyä vaaditulla tasolla, kohdetta on jäähdytettävä koneellisesti. Jukola-Impivaarassa on pyritty minimoimaan jäähdytysenergian tarve tehokkaiden sähkölaitteiden, ikkunoiden säteilysuojauksen ja yötuuletuksen avulla [14, s. 18]. Jukola-Impivaaran toteutussuunnitelmassa on esitetty VTT:n laatima arvio Impivaaran energian kulutuksesta, jonka osana on arvioitu jäähdytysenergian tarpeeksi 25 000 kWh/vuosi. [14, s. 19]

3.1.1 Jukola-Impivaaran jäähdytystehon tarve

Jukolassa on neljä IV-konetta, joista TK01, TK02 ja TK03 palvelevat asuntoja ja yhteisiä tiloja ja TK04 kellarin tiloja. Koneissa TK01, TK02 ja TK03 on jäähdytyspatterit. TK01 ja TK02 jäähdytyspatterit ovat kumpikin 23 kW ja TK03 patteri 19 kW. Jukolassa sijaitsee viisi 1 kW:n puhallinkonvektoria, jotka jäähdyttävät lääkehuoneita pohjakerroksessa ja kerroksissa 1–4. Jukolan jäähdytysteho on yhteensä 70 kW. [15]

Impivaarassa on kolme IV-konetta, joista TK01 palvelee asuntoja, TK02 yleisiä tiloja ja TK03 kellarikerroksen sosiaalisia tiloja. IV-koneista TK01:ssa ja TK02:ssa on jäähdytyspatterit. Impivaaran IV-koneiden jäähdytyspatterien tehot ovat TK01 25 kW ja TK02 57 kW. Impivaarassa on 12 kappaletta 1 kW:n puhallinkonvektoreita, jotka sijaitsevat kellarikerroksen teletilassa ja nousukeskuksessa sekä kellarin ja 1–4 kerrosten atk- ja lääketiloissa. Impivaaran jäähdytystehon tarve on yhteensä 94 kW. Jukolan ja Impivaaran kokonaisjäähdytysteho on 164 kW, josta yhteensä 17 kW koostuu puhallinkonvektoreiden jäähdytystehosta ja 147 kW tuloilman jäähdyttämisestä. [15]

3.1.2 Jukola-Impivaaran jäähdytysjärjestelmä

Jukola-Impivaarassa työ- ja hoitotilojen tuloilmakoneet on varustettu jäähdytyksellä. Lisäksi yksittäisissä suuren jäähdytystarpeen tiloissa on käytetty puhallinkonvektoreita. Järjestelmä on toteutettu yhdellä jäähdytysvesiverkostolla, joka palvelee sekä tuloilmakoneita että puhallinkonvektoreita. Järjestelmän laitteet on sijoitettu Impivaaran kellarikerroksessa sijaitsevaan tekniseen tilaan, josta ne palvelevat sekä Jukolaa että Impivaaraa. Jäähdytysjärjestelmä on toteutettu vedenjäähdytyskojeella, joka hyödyntää Näsijärven vettä lauhdutukseen. [15] Järjestelmässä on vapaajäähdytys mahdollisuus, joka

käyttökokemuksen perusteella riittää kattamaan puhallinkonvektoreiden tehontarpeen silloin, kun tuloilman jäähdytys ei ole käytössä. [16] Alun perin järvivesijärjestelmä on suunniteltu käytettäväksi jäähdytyksen lisäksi lämmityskaudella tuloilman esilämmitykseen. [14, s. 17] Talvella 2014–2015 tehtyjen kokeilujen perusteella järjestely todettiin kannattamattomaksi ja se purettiin pois. [14]

Jäähdytysjärjestelmään pumpataan vettä pumpulla WJ01PU56, joka sijaitsee järven rannassa pumpppukaivossa. Pumppu WJ01PU56 on Grundfosin mallia TP 100–200/4 ja sen ottama sähköteho on 7,5 kW ja virtaama 25 l/s. Pumppu imee vettä pumpppukaivon vieressä sijaitsevasta järviveden imukaivosta, jonne vesi virtaa $\phi 160$ mm imuputkesta, jonka pää on Näsijärven pohjassa noin 50 m päässä järven rannasta. Järviveden lämpötilaksi on mitoituksissa arvioitu korkeimmillaan 15 °C. Jäähdytyskauden virtaamaksi on mitoitettu 12,5 l/s ja lämmityskauden virtaamaksi 15 l/s. Korkeusero järvenpinnan ja järjestelmän korkeimman kohdan välillä on noin 7 metriä ja pumppu WJ01PU56 on mitoitettu nostokorkeudelle 15 m [15]. Taajuusmuuttajalla varustettu pumppu WJ01PU56 toimii jatkuvasti lähes täysillä, mutta osa vedestä ohjataan lämmönsiirtimen ohi suoraan takaisin järveen. [16]

Järvivedestä suodatetaan suurimmat epäpuhtaudet suodattimella WJ01SU01. Suodatin on Tekleenin LPF-sarjan suodatin, joka on varustettu automaattisella vastavirtapuhdistuksella. Suodattimen jälkeen on pumppu WJ01PU55, joka pumppaa vettä lämmönsiirtimelle WJ01LS01. Pumppu WJ01PU55 on Grundfosin mallia TP 80–110/4 ja sen ottama sähköteho on 2,2 kW ja se on varustettu taajuusmuuttajalla. [15]

Vedenjäähdytyskone WJ01JK01 on Chillerin Chillquick CGIW. Chiller Oy:n Option-valintaohjelman antamien teknisten tietojen mukaan koneen jäähdytysteho on 155 kW. Jäähdytetyn veden mitoituslämpötilat ovat 12/7 °C, virtaama 7,5 l/s ja painehäviö 49 kPa. Vedenjäähdytyskone sisältää 16 kg kylmäainetta R410A. Tarvittava lauhdusteho on 187 kW ja veden mitoituslämpötilat lauhdutus puolella 30/35 °C, virtaama 9,0 l/s ja painehäviö 52 kPa. Vedenjäähdytyskoneessa on neliportainen tehonsäätö eli 4 kappaletta 14,5 kW kompressoreita ja sen sähkötehon maksimitarve on 59 kW.

Vedenjäähdytyskoneen WJ01JK01 ollessa käynnissä siltä lähtevän lauhdepuolen veden lämpötilaksi on mitoitettu 35 °C. Pumppu WJ01PU54 pumppaa veden vedenjäähdytyskoneelta lämpimän käyttöveden esilämmitysvaraajalle LV01SX40, jossa osa lauhdelämmöstä hyödynnetään lämpimän käyttöveden lämmitykseen. Pumppu WJ01PU54 on Grundfosin mallia TP 80–170/4 ja sen ottama sähköteho on 4 kW. Esilämmitysvaraaja on Akvaterm Oy:n AKVA 2000 EK -varaaja, jonka tilavuus 2 m³. [15]

Varaajalta vesi virtaa lämmönsiirtimelle WJ01LS01, jossa järvivesi jäähdyttää sen enintään 30 °C lämpötilaan. Lämmönsiirrin on SPX:n APV ParaFlow -levylämmönsiirrin, jonka lämmönsiirtotehoksi on mitoitettu 220 kW. Järviveden mukana tulevat epäpuhtaudet ja levä kertyvät hitaasti lämmönsiirtimeen ja lyhentävät sen elinikää ja lämmön-

siirtotehoa. Likaantumisen ehkäisemiseksi jäähdytysjärjestelmä on varustettu lämmönsiirtimen manuaalisella vastahuuhtelulla. Pumppu WJ01PU57 pumppaa 400 litran säiliöllisen järvivettä lämmönsiirtimen läpi. Vastahuuhteluun käytetty vesi voidaan johtaa takaisin järveen tai haluttaessa viemäriin, jolloin vastahuuhtelussa on mahdollista käyttää pesuaineita puhdistustehon parantamiseksi. [15]

Jäähdytyspiirissä on jäähdytysvedenvaraaja WJ01SX50, joka on Akvaterm Oy:n JV-2000 E -varaaja, jonka tilavuus on 2 m³. Kun vedenjäähdytyskone on käytössä, pumppu WJ01PU52 pumppaa vettä vedenjäähdytyskoneelta varaajalle WJ01SX50. Pumppu WJ01PU52 on Grundfosin mallia TP 80–110/4 ja sen ottama sähköteho on 2,2 kW. Vapaajäähdytystä käytettäessä pumppu WJ01PU52 pumppaa vettä varaajalta suoraan lämmönsiirtimelle WJ01LS01. Pumppu WJ01PU53 pumppaa vettä varaajasta tuloilmakoneille ja puhallinkonvektoreille. Pumppu WJ01PU53 on Grundfosin mallia TP 65–110/4 ja sen ottama sähköteho on 1,1 kW. [15]

Lämmönsiirtimeltä järvivesi palaa järveen paluuputkessa. Paluuputken pää sijaitsee järven rannassa noin 1,5 m veden pinnan alapuolella. [15] Koska sekä imu- että paluuputkien päät sijaitsevat veden alla, paluuputkesta järveen virtaava vesi vähentää pumpujen WJ01PU56 ja WJ01PU55 tekemää työtä. Järjestelmää ei ole varustettu erillisellä sähkömittarilla, joka mittaisi vain jäähdytysjärjestelmän sähkönkulutuksen, joten järjestelmän sähkön kulutuksesta ei ole tarkkaa tietoa.

3.1.3 Jäähdytysjärjestelmän kunnossapito

Koukkuniemen alueella työskentelee huoltohenkilökuntaa, joiden vastuulla ovat alueen rakennukset. He kiertävät Jukola-Impivaaran jäähdytyskone- ja lämmönjakohuoneella päivittäin tarkistamassa tilanteen silmämääräisesti sekä tekemässä tarvittavat toimenpiteet. Eri kohteilla ja eri järjestelmiin käytettyä aikaa, niille tehtyjä huoltotoimenpiteitä ja toimenpiteiden taajuutta ei kirjata erikseen ylös. [16]

Järviveden epäpuhtauksia kertyy järjestelmän osiin lisäten painehäviöitä ja heikentäen järjestelmän hyötysuhdetta ja tehoa. Kesällä järviveden ollessa lämpimämpää levän ja muiden epäpuhtauksien määrä vedessä kasvaa. Tästä johtuen puhdistustoimenpiteet on tehtävä kesäaikaan useammin kuin muina vuodenaikoina.

Järvivesisuodatin ja sen vastahuuhtelupuhdistus toimivat automaattisesti, mutta suodatin on tarkistettava aika ajoin silmämääräisesti. Lämmönsiirtimelle tehdään manuaalinen vastahuuhtelu talvella noin kerran kolmessa viikossa ja kesällä arviolta kerran viikossa. Tähän mennessä vastahuuhtelu on tehty vain järvivedellä, jolloin vesi voidaan johtaa takaisin järveen. Jatkossa on oletettavasti tarvetta käyttää myös pesuainetta. [16]

Lämmönsiirtimien iäksi voidaan tavallisesti arvioida noin 20 vuotta, kun siirtimessä virtaavat nestevirrat eivät sisällä epäpuhtauksia. [17] Järvivesijärjestelmän lämmönsiir-

timen iän voidaan kuitenkin olettaa olevan merkittävästi lyhyempi veden sisältämien epäpuhtauksien vuoksi.

3.2 Tietotalo

Tietotalo on osoitteessa Naulakatu 2, 33100 Tampere sijaitseva toimisto- ja virastorakennus. Kohteen omistaa Tampereen Palvelukiinteistöt Oy ja sen teknisestä huollosta vastaa Tampereen Tilakeskus Liikelaitos. Vuonna 2005 valmistuneessa rakennuksessa sijaitsevat Tampereen kaupungin taloushallinnon palvelukeskus ja hallintopalvelukeskus, TampereRekry, Fujitsu Finland Oy, Pirkanmaan jätehuolto Oy, Juvenes Print, ISS aulapalvelut sekä Amican ylläpitämä Ravintola Tietotalo. Kuvassa 8 on esitetty Tietotalo lounaasta kuvattuna.



Kuva 8. Tietotalo.

Rakennuksen huoneala on 10 644 m^2 ja bruttoala 11 919 m^2 . Rakennuksessa on kaksi osittain maanalaista kerrosta, 5 maanpäällistä kerrosta ja vesikatolla sijaitseva IV-konehuone. Rakennuksessa sijaitsee pääsääntöisesti toimistotiloja, joissa ryhmätyö- ja neuvottelutilat on varustettu puhallinkonvektoreilla. Rakennuksessa sijaitsee lisäksi jäähdytyspalkkeja ja kaksi kappaletta vakioilmastointikojeita. Jäähdytysenergia tuotetaan liuoslauhdutteisella vedenjäähdytyskoneella, joka palvelee IV-koneita, jäähdytyspalkkeja ja puhallinkonvektoreita. Järjestelmän jäähdytysteho on 600 kW. [18]

Talon jäähdytyslaitteiden huollosta vastaa Huurre, jonka työntekijät käyvät kohteella kuukausittain tarkistamassa järjestelmän kunnon ja tekemässä tarvittavat huoltotoimenpiteet. Kuukausihuolto sisältää laitteiden silmämääräisen tarkistuksen, laitteiden hälytyslistojen läpikäymisen ja pienet huoltotoimenpiteet. Lisäksi kuukausihuollon yhtey-

dessä tarkistetaan laitteiden käyntipaineet ja kuunnellaan, etteivät laitteet pidä tavallises-
ta poikkeavaa ääntä. Kuukausihuollon yhteydessä kohteella tehdään kaksi kertaa vuo-
dessa kylmäaineelle vuototarkistus ja toisinaan sähköliitosten testaus ja tarvittaessa ki-
ristys. Yleisimpiä huoltotoimenpiteitä ovat magneettiventtiilin kelanvaihto, releiden ja
kontaktoreiden vaihto ja hieman harvemmin myös piirikorttien vaihto. [19]

Huurteen lisäksi jäähdytysjärjestelmän huollosta vastaa kohteen huoltomies, jolle tulee
tekstiviestillä hälytys laitteissa esiintyvistä vioista. Yleisimmin nämä viat liittyvät jääh-
dytysveden paineeseen tai lämpötilaan. Jäähdytyskoneiston tapahtumapöytäkirjan ja
haastattelujen mukaan hälytyksiä tulee noin kymmenen kertaa vuodessa. [20] Huurteen
laskuista aikavälille 1.1.2013–30.4.2015 on laskettu, että järjestelmän huolto- ja korja-
uskustannukset ovat noin 15 euroa/kW/vuosi. [21]

3.3 Sähkötalo

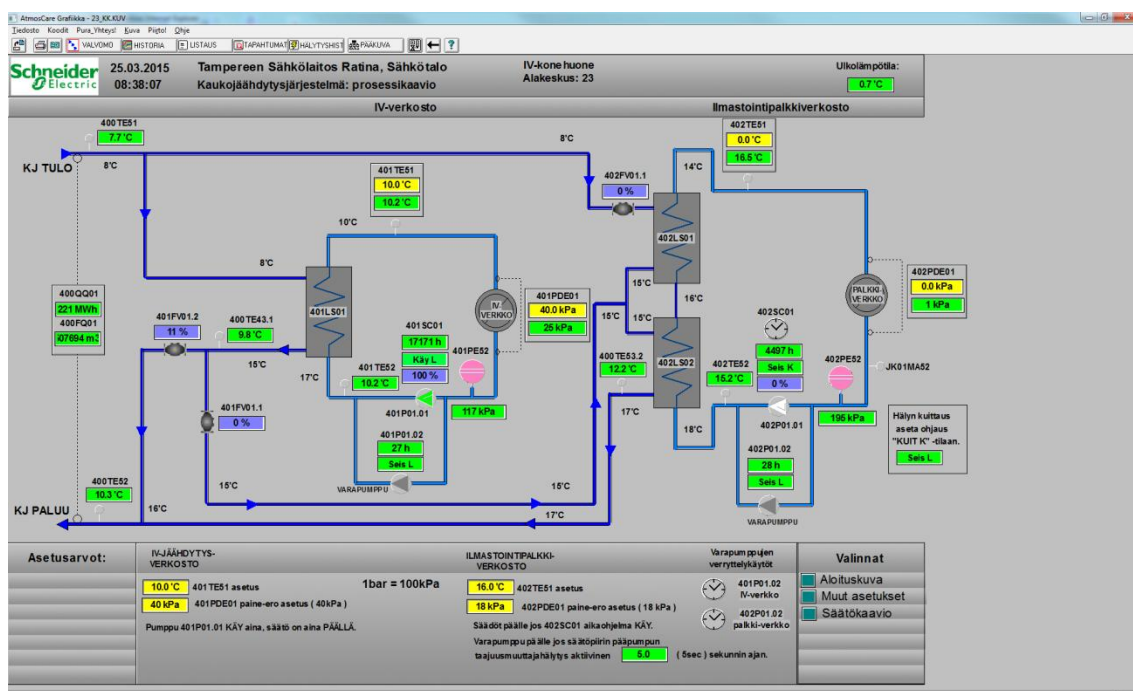
Sähkötalo on osoitteessa Voimakatu 11, 33100 Tampere sijaitseva toimistorakennus.
Sähkötalo rakennettiin vuonna 1997 Tampereen Sähkölaitos Oy:n toimitiloiksi. Raken-
nus on parhaillaan tyhjillään Tampereen Sähkölaitos Oy:n muutettua muihin toimitiloi-
hin vuoden vaihteessa. Rakennus on 3-kerroksinen ja koostuu A- ja B-siivistä. Raken-
nuksen huoneala on 3 640 m² ja bruttoala 4 097 m². Kuvassa 9 on esitetty Sähkötä-
lo etelästä kuvattuna.



Kuva 9. Sähkötalo.

Sähkötalo liitettiin kaukojäähdytysverkkoon vuoden 2012 lopulla ja samalla rakennuk-
sesta purettiin pois vedenjäähdytyskoje ja sen oheislaitteet. Sähkötalon kaukojäähdytys-
liittymän sopimusvesivirta on 16 m³/h, jota vastaava jäähdytysteho on 140 kW. Vuotui-

nen jäädytysenergian kulutus oli suurimmillaan vuonna 2013, jolloin se oli 140 MWh. Jäähdytysjärjestelmä sijaitsee IV-konehuoneessa 4. kerroksessa vesikatolla. [22] Kuvas-
sa 10 on Sähkötalon jäähdytysjärjestelmän prosessikaavio.



Kuva 10. Sähkötalon jäähdytysjärjestelmän prosessikaavio.

Kuvasta X nähdään, että Sähkötalon jäähdytysjärjestelmä on liitetty kaukojäähdytykseen kolmella lämmönsiirtimellä. Lämmönsiirrin 401LS01 jäähdyttää IV-jäähdytysverkon +10/17 °C piiriä. Lämmönsiirtimet 402LS01 ja 402LS02 jäähdyttävät ilmastointipalkkiverkon +14/17 °C piiriä. Molemmat piirit on varustettu pumpun lisäksi varapumpulla. Järjestelmässä ei ole lainkaan varaajaa, sillä kaukojäähdytys verkoston teho riittää kattamaan jäähdytyspiikit.

IV-konehuoneella käydään kiertämässä ja tarkistamassa tilanne noin kerran viikossa. Käynnin yhteydessä tarkistetaan jäähdytysjärjestelmän lisäksi muut tilassa sijaitsevat järjestelmät. Jäähdytysjärjestelmän IV-piiriin on lisätty vettä noin muutama litra kahden kuukauden välein paineen putoamisesta johtuen, mutta muuten järjestelmä on ollut huoltovapaa. [23]

4. ELINKAARIKUSTANNUKSET

Järjestelmän elinkaarikustannuksilla tarkoitetaan kaikkia niitä kustannuksia, jotka aiheutuvat sen elinkaaren alusta loppuun. Elinkaarikustannuksiin luetaan mukaan rakennuskustannukset, ylläpitokustannukset, muutoskorjauskustannukset, ajanmukaistamiskustannukset, purkukustannukset ja mahdolliset purun jälkeiset kustannukset.

Green Build Council Finland (GBC Finland) on vuonna 2010 perustettu yhdistys, jonka tavoitteena on edistää rakennetun ympäristön kestävä kehityksen käytäntöjä ja kiinteistöjen ympäristöluokituksia. [24] Vuonna 2011 käynnistetyssä Vähähiilisen kiinteistö- ja rakentamisanalyysin ydinindikaattorit -hankkeessa GBC Finland kehitti kahdeksan rakennusten elinkaarimittaria, joiden avulla voidaan perustaa päätöksenteko ilmastovaikutuksiin, energiankulutukseen, taloudellisuuteen ja rakennuksen käyttäjien hyvinvointiin. GBC Finlandin kehittämät mittarit voidaan jakaa hankevaiheen mittareihin, joihin kuuluvat E-luku, elinkaaren hiilijalanjälki, elinkaarikustannus ja sisäilmaluokka, sekä käyttövaiheen mittareihin, joihin kuuluvat energiankulutus, käytön hiilijalanjälki, pohjateho ja sisäympäristöön tyytyväisten käyttäjien osuus. [25, s. 4] Tässä diplomityössä tarkastellaan näistä mittareista elinkaarikustannuksia noudattaen GBC Finlandin ohjeistusta. Joitakin muokkauksia on kuitenkin tehty pääasiassa johtuen siitä, että tarkastelun kohteena on yksittäinen järjestelmä eikä koko rakennus. Tässä luvussa tarkastellaan GBC Finlandin esittämiä elinkaarikustannuslaskennan yleisiä periaatteita ja elinkaaren eri vaiheita.

4.1 Yleiset periaatteet

Raportissa GBC Finland – Rakennusten elinkaarimittarit 2013 [25] on esitetty elinkaarikustannuslaskennan yleiset periaatteet. Elinkaarikustannuslaskenta perustuu eurooppalaisen standardiperheen CEN/TC 350 – Sustainability of Construction Works elinkaarikustannusten puitestandardiin EN 15643-4. Laskennan perusperiaatteisiin kuuluu, että elinkaarikustannukset mittaavat kustannuksia, eivät tuloja ja tästä johtuen tuloja rakennukselle ei oteta huomioon laskuissa. Erilaiset lopulliseen kauppahintaan vaikuttavat alennukset, hyvitykset ja palautukset kuitenkin otetaan huomioon nettokustannuksissa. Laskennassa otetaan huomioon ja jaksotetaan kustannukset kohteen koko elinkaarelle. Laskennassa ei oteta huomioon yleisen inflaation tai muiden hintojen korotusten vaikutuksia kustannuksiin, vaan kustannustasona pidetään nykyhetken hintoja. Poikkeuksena on energian hinta, jonka oletetaan nousevan vuosittain.

Eri vuosina syntyneet kustannukset diskontataan ja tulokset ilmoitetaan nettonykyarvona. Laskennassa käytetään vähintään yhtä diskonttauskorkoa, joka on esitettävä rapor-

toinnissa tulosten yhteydessä. Korkokanta tai -kannat voidaan valita esimerkiksi toimeksiantajan vaatimusten tai toimialan yleisten käytäntöjen perusteella. Korkokannassa otetaan huomioon kohteen rahoituskustannukset.

Arvonlisävero joko järjestelmällisesti otetaan huomioon tai jätetään huomioon ottamatta laskelmissa riippuen siitä, onko rakennuksen käyttäjällä mahdollisuus vähentää arvonlisävero. Raportoinnissa on mainittava otettiinko arvonlisävero huomioon laskelmissa vai ei.

Elinkaarikustannuslaskennassa otetaan huomioon vain ne kustannukset, jotka liittyvät oleellisesti rakennuksen olosuhteiden ja palveluiden tuottamiseen. Käyttäjien toiminnan aiheuttamat kustannukset jätetään huomioon ottamatta.

Verojen ja muiden viranomaismaksujen laskenta perustuu voimassa olevaan lainsäädäntöön. Jos kuitenkin on tiedossa ennalta tunnettuja muutoksia veroihin tai maksuihin, nämä muutokset voidaan ottaa huomioon laskennassa, mikäli muutoksia voidaan pitää merkittävinä tulosten kannalta.

4.2 Elinkaaren vaiheet

Laskennan selkeyttämiseksi kohteen elinkaari jaetaan vaiheisiin, joille lasketaan kustannukset erikseen. GBC Finlandin raportissa vaihteita ovat A ennen käyttövaihetta, B käyttövaihe ja C purku. Lisäksi otetaan huomioon D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset. Vaiheet A ja B on lisäksi jaettu useampaa alakohtaan. Taulukko 3 selventää kustannusten jakautumista näille vaiheille.

Taulukko 3. GBC Finlandin määrittämä kustannusten jakauma elinkaaren vaiheille [25, s. 42].

VAIHE	VAIHEEN KESKEINEN SISÄLTÖ
A0 ENNEN RAKENTAMISTA	Tontin hankinta veroineen, hankevaiheen suunnitelmat ja kustannukset. Jos tontti vuokrataan, vuokratkustannukset kohdistetaan tälle vaiheelle. Jos rakennus hankitaan käyttöön olemassa olevana, kohdistetaan hankintahinta ja -kulut tähän vaiheeseen.
A1-A5 ENNEN KÄYTTÖVAIHETTA	Vaiheet A1-A5 voidaan käsitellä yhtenä kokonaisuutena, joka voi perustua urakkatarjoksiin tai muuhun kustannusarvioon. Myös muut hankkeen projektinjohto-, tarkastus- ja valvontakulut kuuluvat tähän vaiheeseen. Kunnallistekniikan liittymiskustannukset kuuluvat tähän vaiheeseen.
B1 KÄYTTÖ	Kiinteistövero, isännöinti, vakuutukset ja turvallisuuspalvelut. Taloushallintoon (esim. asunto-osaakeyhtiön kirjanpito ja tilintarkastus) liittyviä kustannuksia ei huomioida.
B2 KUNNOSSAPITO	Huolto- ja ylläpitopalvelut, mm. siivous, pintojen ja teknisten järjestelmien huolto. Tarkastukset ja muut toistuvat toimenpiteet (esim. nuohous).
B3 KORJAUS	Ennakoimattomista rikkoutumisista johtuvat korjauskustannukset.
B4 OSIEN VAIHTO	Suunnitelluista rakennuksen osien vaihdoista johtuvat korjauskustannukset ja tähän liittyvien suunnittelu- ja valvontatehtävien kustannukset.
B5 LAAJAMITTAISET KORJAUKSET	Rakennuksen käyttötarkoituksen muuntamisesta johtuvat kustannukset.
B6 ENERGIAN KÄYTTÖ	Rakennukseen ostettava energia- ja polttoaineet siirtomaksuineen. Kulutuksesta tulee poistaa kuluttajalaitteiden osuus (tai mainittava jos se on huomioitu), mutta tontilla kuluttava energia huomioidaan. Periaate on sama kuin hiilijalanjäljen osalta (kts. 6.3).
B7 VEDEN KÄYTTÖ	Puhtaan veden ostosta ja jäteveden käsittelystä syntyvät kustannukset. Kulutuksesta tulee poistaa kuluttajalaitteiden osuus kulutuksesta (tai mainittava jos se on huomioitu).
C1-C4 PURKUVAIHE	Rakennuksen purkaminen ja purkujätteen käsittely ja kuljetus. Maaperän tai tontin ennallistaminen hanketta edeltävälle tasolle ja valmiiksi seuraavaa käyttäjää varten. Kohta voidaan käsitellä urakkasummana purku-, siivous- ja ennallistamistöistä, josta poistetaan materiaalien hyötykäytön hyvitykset. Jos näitä ei tunneta, niitä ei huomioida.
D ELINKAAREN ULKO-PUOLISET LISÄTIEDOT	Lisätiedot kattavat rakennuksen elinkaaren ulkopuoliset vaiheet, jotka koostuvat energian myynnistä ja rakennuksen materiaalien tai osien uudelleen- tai hyötykäytöstä. Uudelleen- ja hyötykäyttö huomioidaan ensisijaisesti syntyneitä kustannuksia vähentävänä alennuksena, ja kustannukset ylittävät tulot raportoidaan lisätiedoissa. Lisäksi lisätietomodulissa todetaan rakennushankkeen saamat mahdolliset subventiot.

Elinkaarikustannuksia laskettaessa voidaan tehdä tiettyjä yksinkertaistuksia johtuen siitä, ettei kaikkia kustannuksia ole tiedossa etukäteen. Nämä yksinkertaistukset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. GBC Finlandin määrittämät elinkaarikustannuslaskennan yksinkertaistukset [25, s. 43].

ELINKAAREN VAIHE	VAIHTOEHDOT	EDELLYTYKSET YKSINKERTAISTAMISELLE
A0 ENNEN RAKENTAMISTA	Laskea keskihinnoin	Jos maa-alueen tarkkaa hintaa ei ole vielä tiedossa, voidaan laskea soveltuvilla maan hankinnan keskihinnoilla.
A1-A5 ENNEN KÄYTTÖVAIHETTA	Laskea keskihinnoin	Soveltuva neliökohtainen rakentamisen hinta, joka vastaa rakennettavaa kohdetta ja aluetta, jossa rakennetaan.
B1 KÄYTTÖ	Laskea keskihinnoin	Laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.
B2 KUNNOSSAPITO	Laskea keskihinnoin	Laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.
B3 KORJAUS	Jättää huomioimatta	Voidaan jättää huomioimatta, jos korjaustarvetta ei pystytä arvioimaan.
B5 LAAJAMITTAISET KORJAUKSET	Jättää huomioimatta, jos käyttöikä alle 30 v	Voidaan jättää huomioimatta jos käyttöikä on alle 30 v., tai jos voidaan osoittaa että rakennus ei tarvitse käyttöikänään peruskorjausta.
B6 ENERGIAN KÄYTTÖ	Laskea ostosähköllä	Jos kohteen energiaratkaisua ei ole suunniteltu tai siitä ei ole päätetty
C1-C4 PURKUVAIHE	Laskea keskihinnoin	Laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.
D LISÄTIEDOT	Jättää huomioimatta	Jos muita kuin ydinliiketoimintaan liittyviä tulolähteitä ei ole tiedossa.

Taulukoista 3 ja 4 nähdään, että vaiheeseen A kuuluvat perinteisesti rakentamisen aikaiset ja sitä edeltävät kustannukset. Tässä diplomityössä tarkastavien vaihtoehtoisten jäähdytysjärjestelmien osalta tähän vaiheeseen voidaan katsoa kuuluvan jäähdytysjärjestelmän suunnitteluvaiheen kustannukset ja investointi. Investointi koostuu materiaalikustannuksista ja urakoinnista. Kaukojäähdytyksen osalta investointiin kuuluu myös kaukojäähdytysliittymän hinta. Jäähdytysjärjestelmien investointien kustannusarviot voivat perustua urakkatarjouksiin tai muihin kustannusarvioihin.

Taulukosta 3 nähdään, että koko rakennuksen elinkaarta tarkasteltaessa vaiheeseen B kuuluvat käyttö, kunnossapito, korjaus, osien vaihto, laajamittaiset korjaukset sekä energian ja veden käyttö. Kunnossapidosta aiheutuu kustannuksia teknisten järjestelmien huollosta, tarkastuksista ja muista toistuvista toimenpiteistä. Taulukossa 4 esitettyjen elinkaarilaskennan yksinkertaistusten mukaan nämä kunnossapito kustannukset voidaan laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla. Korjauskustannuksia aiheutuu ennakoimattomista rikkoutumisista ja ne voidaan jättää taulukon 4 ohjeistuksen mukaisesti huomioon ottamatta laskennassa, mikäli korjaustarvetta ei pystytä arvioimaan. Osien vaihtoon liittyvät kustannukset aiheutuvat suunnitelluista osien vaihdoista sekä niihin liittyvistä suunnittelu- ja valvontatehtävistä. Jäähdytysjärjestelmän osalta laajamittaisien korjausten kustannuksia muodostuu, kun merkittävä osa järjestelmän osista joudutaan uusimaan. Laajamittaiset korjaukset on taulukon 4 tietojen perusteella otettava huomioon, mikäli tarkastelujakso on 30 vuotta tai pidempi. Energiankäytön kustannukset koostuvat jäähdytysjärjestelmän osalta sähköenergian ostosta, sähkönsiirrosta ja kaukojäähdytyksen jäähdytysenergiasta.

Vaiheeseen C kuuluu taulukon 3 tietojen perusteella jäähdytysjärjestelmän osalta purku-, siivous- ja ennallistamistyöt, joiden kustannukset voidaan käsitellä urakkasummana. Taulukon 4 tietojen perusteella nämä kustannukset voidaan laskea keskihinnoilla tai muiden kohteiden toteutuneilla hinnoilla.

Vaiheeseen D eli elinkaaren ulkopuolisiin lisätietoihin kuuluu taulukon 3 mukaan muun muassa energian myynti sekä rakennuksen osien ja materiaalien uudelleen- ja hyötykäyttö. Lisäksi vaiheessa D mainitaan kohteen saamat mahdolliset subventiot.

5. ELINKAARIKUSTANNUSTEN LASKENTAMALLIT

Tässä luvussa esitetään laskentaan käytettäviä menetelmiä ja yhtälöitä ja laskennan tulosten raportointia sekä tarkastellaan laskentamallien luotettavuutta. GBC Finlandin ohjeistuksen mukaan elinkaarikustannuslaskennassa tulee käyttää nykyarvomenetelmää, jossa kustannukset diskontataan eli siirretään hankintahetkeen. Luvussa 5.1 on esitetty nykyarvomenetelmä tarkemmin. Luvussa 5.2 määritetään ajanjakso, jolta kustannuksia tarkastellaan. Luvussa 5.3 tarkastellaan ostoenergian kustannusrakenteita eli sähköenergian, sähkön siirron ja jäähdytysenergian kustannusrakennetta. Luvussa 5.4 esitetään GBC Finlandin mallipohja elinkaarikustannusten raportointiin ja luvussa 5.5 tarkastellaan laskentamallien luotettavuutta ja esitellään herkkyystarkastelun periaatteet.

5.1 Nykyarvomenetelmä

Nykyarvomenetelmässä tarkasteluajaksi on valittu investoinnin hankintahetki. Lähtökohtana on, että tietyn rahasumman arvo on tällä hetkellä suurempi kuin vastaavan rahasumman arvo tulevaisuudessa. Tästä johtuen tulevat maksusuoritukset diskontataan eli siirretään hankintahetkeen, jotta saadaan selville niiden sen hetkinen arvo. [26] Tässä diplomityössä nykyarvoa laskettaessa ei oteta huomioon lainkaan järjestelmän mahdollisia tuloja, sillä luvussa 4.1 esitettyjen GBC Finlandin yleisperiaatteiden mukaisesti elinkaarikustannuksia laskettaessa otetaan huomioon kustannukset, mutta ei tuloja.

Yksittäiselle maksusuoritukselle diskonttaustekijä on $1/(1+i)^n$, jossa i on laskentakorkokanta ja n vuosien määrä. Tällöin n :n vuoden kuluttua aiheutuva kustannus K_n on tarkasteluhetkeen diskontattuna kustannus K_0 , joka saadaan yhtälöstä

$$K_0 = K_n * 1/(1+i)^n \quad (1)$$

Vuotuiselle kustannukselle K , joka on vakio, voidaan puolestaan käyttää jaksollisten maksujen diskonttaustekijää $[(1+i)^n - 1]/i * (1+i)^n$. Kun kustannus K diskontataan n :ltä vuodelta, kustannusten summa K_{kok} saadaan yhtälöstä

$$K_{\text{kok}} = K * [(1+i)^n - 1]/i * (1+i)^n \quad (2)$$

Nykyarvo NA lasketaan kaavalla

$$NA = \sum K_n / (1+i)^n + \sum K * [(1+i)^n - 1]/i * (1+i)^n + H \quad (3)$$

jossa H on investoinnin hankintahinta. Nykyarvoa laskettaessa otetaan huomioon siis kaikki yksittäiset ja vuotuiset kustannuserät sekä alkuperäinen investointi. [26] Taulukossa 5 on GBC Finlandin esimerkkilaskelma elinkaarikustannuksista.

Taulukko 5. GBC Finlandin esimerkkilaskelma rakennuksen elinkaarikustannuksista [25, s. 61].

VAIHE	DISKONTTAUS-JAKSOJEN MÄÄRÄ	DISKONTTAUS-KERROIN (KORKO k)	NIMELLIS-ARVO '000 €	NYKYARVO '000 €
A0 ENNEN RAKENTAMISTA	0	1,00	500	500
A1-A5 ENNEN KÄYTTÖÄ	0	1,00	2 000	2 000
B1-B3 JA B6-B7 KÄYTTÖ (VUOSITTAISET)	$1-n=50$	$1 / ((1+k)^{1-n})$	100×50	2 573
B4, B5 KÄYTTÖ (JAKSOTTAISET), KÄYTTÖVUOSI 10	10	$1 / ((1+k)^{10})$	300	223
B4, B5 KÄYTTÖ (JAKSOTTAISET), KÄYTTÖVUOSI 20	20	$1 / ((1+k)^{20})$	300	166
B4, B5 KÄYTTÖ (JAKSOTTAISET), KÄYTTÖVUOSI 30	30	$1 / ((1+k)^{30})$	500	206
C1-C4 PURKU	$n=50$	$1 / ((1+k)^n)$	500	114
ELINKAARI YHTEENSÄ			9 100	5 782

Taulukosta 5 nähdään, että nimellisarvojen ja nykyarvojen summat poikkeavat toisistaan merkittävästi. Ero johtuu rahan arvon menetyksestä tulevaisuudessa.

5.2 Käyttöiän määrittäminen

Elinkaarikustannuslaskennassa on määritettävä tarkastelujakso, joka perustuu kohteen oletettuun käyttöikään eli siihen kauanko kohteen tai järjestelmän vaaditaan olevan käytössä ennen purkua. Valittu käyttöikä vaikuttaa elinkaarilaskennassa erityisesti käyttövaiheen aikaisiin kustannuksiin ja sitä kautta kokonaiskustannuksiin. Taulukossa 6 on esitetty GBC Finlandin käyttöikäarviot eri rakennustypeille.

Taulukko 6. GBC Finlandin määrittämät rakennusten käyttöikäarviot [25, s. 58].

KATEGORIA	OHJEELLINEN KÄYTTÖIKÄ, v.	ESIMERKKEJÄ
1	10	Väliaikaiset rakenteet
2	10-25	Korvattavissa olevat rakenneosat
3	15-30	Maatalousrakenteet ja vastaavat rakenteet
4	50	Rakennukset ja muut yleiset rakenteet
5	100	Monumentaaliset rakennukset, sillat ja muu infrastruktuuri

Taulukon 6 mukaan suurimmalle osalle rakennuksista ohjeellinen käyttöikä on 50 vuotta. Tässä diplomityössä tarkastellaan jäähdytysjärjestelmien kustannuksia rakennuksen koko käyttöiälle, joten jäähdytysjärjestelmien käyttöiän oletetaan olevan 50 vuotta. Jär-

jestelmän yksittäisten osien ei voida olettaa kestävän koko rakennuksen elinkaarta, mutta laskennassa otetaan huomioon järjestelmän osien vaihdosta aiheutuneet kustannukset.

5.3 Ostoenergia

Tämän diplomityön tarkasteluissa ostoenergiaa ovat sähkö ja kaukojäähdytyksen jäähdytysenergia. Sähkön hinta koostuu kahdesta komponentista: sähköenergiasta ja sähkön siirrosta. Luvuissa 5.3.1–5.3.3 on esitelty sähköenergian, sähkön siirron ja jäähdytysenergian kustannusrakenne.

5.3.1 Sähköenergia

Sähköenergian hinta on ainoa kustannus, jonka laskennassa tässä diplomityössä otetaan huomioon inflaation vaikutus hintojen nousuun. Taulukossa 7 on esitetty GBC Finlandin elinkaarikustannusten laskennalle asettamat arvot sähköenergian vähimmäishinnalle sekä arviolle energian hinnannoususta vuositasona.

Taulukko 7. GBC Finlandin määrittämät elinkaarikustannuslaskennan parametrit [25, s. 58].

MUUTTUJA	ARVO	LÄHDE
DISKONTTAUSKORKO	3,00 %	Direktiivi 2010/31/EU rakennusten energiatehokkuudesta laskentaohjeistuksen mukainen peruskorko
SÄHKÖENERGIAN VÄHIMMÄISHINTA	5,2 snt / kWh	Energiamarkkinavirasto, sähköenergian hinta, veroton, tyyppikäyttäjä L1, keskiarvo jaksolta 1.11.2007 - 1.11.2012
KEVYEN POLTTOÖLJYN VÄHIMMÄISHINTA	65 snt / litra	Tilastokeskus, Energian hinnat, verollinen kuluttajahinta 2007-2011 vuosien keskiarvot, josta poistettu arvonlisäveron osuus.
ENERGIAN HINNAN NOUSU VUOSITASOLLA	4,60 %	EU Energy trends to 2030: reference scenarion perusteella laskettu keskiarvo energiatuotteiden hintojen kehityksestä 2025-2030 aikajänteellä, jota korjattu inflaatiolla

Laskennassa tulee käyttää vähintään taulukon 7 mukaista sähköenergian vähimmäishintaa 5,2 snt/kWh, jotta lyhyen aikavälin hinnanlasku ei vaikuta tuloksiin kohtuuttomasti. Taulukon 7 sähköenergian vähimmäishinta perustuu energiamarkkinaviraston määrittämään keskipitkän aikavälin keskiarvoon sähkön hinnalle. Todellisen sähköenergian hinnan ollessa korkeampi kuin 5,2 snt/kWh laskennassa voidaan käyttää todellista hintaa. Tässä diplomityössä käytetään sähköenergian hinnalle tarkastelujakson ensimmäisenä vuonna $H_{\text{sähköenergia}, 1}$ arvoa 5,2 snt/kWh.

Sähköenergian hinnan oletetaan nousevan vuosittain koko tarkastelujakson ajan ja se otetaan huomioon laskuissa. Vuotuinen sähköenergian hinnan nousu i_s on taulukon 7 mukaiset 4,60 %. Tästä johtuen sähköenergiasta koituva kustannus on laskettava erikseen jokaiselle vuodelle. Vuotuisen sähköenergian hinnan lasketaan nousevan tarkastelujakson toisesta vuodesta alkaen. Sähköenergian hinta tarkasteluvuonna n eli $H_{\text{sähköenergia}, n}$ lasketaan yhtälöllä

$$H_{\text{sähköenergia},n} = H_{\text{sähköenergia},1} * (1 + i_s)^{(n-1)} \quad (4)$$

jossa $H_{\text{sähköenergia},1}$ on sähköenergian hinta tarkastelujakson ensimmäisenä vuonna.

Vuotuinen sähköenergian kustannus saadaan kertomalla hinta $H_{\text{sähköenergia},n}$ sähkön vuotuisella kulutuksella $E_{\text{sähkö}}$ ja diskonttaamalla tulo tarkasteluhetkeen. Sähköenergian kustannusten nykyarvo koko tarkastelujaksolle $NA_{\text{sähköenergia}}$ lasketaan summaamalla yhteen jokaisen yksittäisen vuoden kustannusten nykyarvo. Nykyarvo koko tarkastelujaksolle lasketaan yhtälöllä

$$NA_{\text{sähköenergia}} = \sum H_{\text{sähköenergia},n} * E_{\text{sähkö}} * \frac{1}{(1+i)^n} \quad (5)$$

jossa $E_{\text{sähkö}}$ on sähkön vuotuinen kulutus ja i laskentakorkokanta.

5.3.2 Sähkön siirto

Tarkasteltava kohde sijaitsee Tampereen Sähköverkko Oy:n verkkoalueella, joten sähkön siirron hinnat määräytyvät Tampereen Sähköverkko Oy:n sähkön verkkopalveluhinnaston mukaan. Hintoihin lasketaan mukaan sähkövero $V_{\text{sähkövero}}$ veroluokan 1 mukaan eli 2,253 snt/kWh ja arvonlisävero 24 %. Sähkön siirron kustannukset koostuvat useasta komponentista ja riippuvat valitusta siirtotuotteesta. Kyseisen kohteen sähköliittymä on keskiänniteliittymä, joten kohteeseen on valittavana kaksi eri siirtotuotetta: keskiännitetehosiirto 1 ja keskiännitetehosiirto 2 [27]. Sähkönkäyttöpaikalla on valittuna keskiännitetehosiirto 1, joten tässä diplomityössä lasketaan sähkön siirron hinnat kyseisen siirtotuotteen hinnoilla.

Keskiännitetehosiirto 1 maksuja ovat kuukausittainen perusmaksu, pätötehomaksu ja loistehomaksu sekä päivä- ja yöenergiamaksut [27]. Jäähdytysjärjestelmän kulutus tullaan mittaamaan samalla mittarilla muiden Koukkuniemen rakennusten kulutuksen kanssa. Tästä johtuen jäähdytysjärjestelmän olemassa olo ei vaikuta kuukausittaiseen perusmaksuun, vaan perusmaksu olisi sama tilanteessa, jossa Toukolaan ei rakennettaisi jäähdytysjärjestelmää. Pätöteho- ja loistehomaksut määräytyvät suurimpien kuukausittaisten tuntitehojen ja induktiivisen loistehon mukaan. Tehohuiput koostuvat koko Koukkuniemen rakennusten tehon tarpeesta ja voidaan olettaa, että jäähdytysjärjestelmän vaikutus tehohippujen muodostumiseen on pieni. Edellä esitetyistä tekijöistä johtuen perusmaksu, pätötehomaksu ja loistehomaksu jätetään laskuissa huomioon ottamatta ja sähkön siirron kustannukset määritetään energiamaksujen perusteella.

Vuoden 2015 alussa voimaan astuneen sähkön verkkopalveluhinnaston mukaan siirtotuotteelle keskiännitetehosiirto 1 päiväenergiamaksu $H_{\text{energiamaksu,päivä}}$ on 1,11 snt/kWh ja yöenergiamaksu $H_{\text{energiamaksu,yö}}$ 0,67 snt/kWh [27]. Sähkön siirron vuotuiset kustannukset $K_{\text{sähkönsiirto}}$ lasketaan yhtälöllä

$$K_{\text{sähkön siirto}} = E_{\text{sähkö, päivä}} * (H_{\text{energiamaksu, päivä}} + V_{\text{sähkövero}}) + E_{\text{sähkö, yö}} * (H_{\text{energiamaksu, yö}} + V_{\text{sähkövero}}) \quad (6)$$

jossa $E_{\text{sähkö, päivä}}$ on sähkön vuotuinen kulutus päivisin aikavälillä 07–22 ja $E_{\text{sähkö, yö}}$ on sähkön vuotuinen kulutus öisin aikavälillä 22–07.

Vuotuisten kustannusten nimellisarvo pysyy vakiona koko tarkastelujakson ajan, joten sähkön siirron kustannuksille voidaan käyttää jaksollisten maksujen diskonttaustekijää $[(1+i)^n - 1] / i * (1+i)^n$. Sähkön siirron kustannusten nykyarvo koko tarkastelujaksolle on $NA_{\text{sähkön siirto}}$, joka lasketaan yhtälöllä

$$NA_{\text{sähkön siirto}} = K_{\text{sähkön siirto}} * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad (7)$$

5.3.3 Jäähdytysenergia

Kaukojäähdytyksen käytön vuotuiset kustannukset $K_{\text{kaukojäähdytys}}$ koostuvat tehomaksusta ja energiamaksusta H_{energia} yhtälön (8) mukaisesti

$$K_{\text{kaukojäähdytys}} = 12 \text{ kk} * H_{\text{teho}} + E_{\text{kaukojäähdytys}} * H_{\text{energia}} \quad (8)$$

jossa $E_{\text{kaukojäähdytys}}$ on kaukojäähdytysenergian vuotuinen kulutus. Tehomaksu H_{teho} määräytyy kaukojäähdytysliittymän sopimusvesivirran mukaan.

Jäähdytysenergian kulutuksen oletetaan pysyvän samana koko tarkastelujakson ajan. Tästä johtuen myös vuotuisten kustannusten nimellisarvo pysyy samana, ja kustannusten nykyarvon määrittämisessä käytetään jaksollisten maksujen diskonttaustekijää. Kaukojäähdytysenergian kustannusten nykyarvo koko tarkastelujaksolle on $NA_{\text{kaukojäähdytys}}$ ja lasketaan yhtälöllä

$$NA_{\text{kaukojäähdytys}} = K_{\text{kaukojäähdytys}} * \frac{(1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad (9)$$

5.4 Elinkaarikustannusten raportointi

GBC Finlandin raportissa Rakennusten elinkaarimittarit 2013 on esitetty raporttipohja elinkaarikustannuksille, jota käytetään myös tässä diplomityössä tulosten raportointiin. Raporttipohja on esitetty taulukossa 8.

Taulukko 8. GBC Finlandin raporttipohja elinkaarikustannuksille [25, s. 51].

ELINKAAREN VAIHE	ELINKAARIKUSTANNUS '000 €	LISÄTIETOA
A0 ENNEN RAKENTAMISTA		Laskentaperuste ilmoitettava
A1-A5 ENNEN KÄYTTÖVAIHETTA		Laskentaperuste ilmoitettava
A ENNEN KÄYTTÖVAIHETTA YHTEENSÄ		
B1 KÄYTTÖ		Laskentaperuste ilmoitettava
B2 KUNNOSSAPITO		Laskentaperuste ilmoitettava
B3 KORJAUS		Ilmoitettava jos ei ole huomioitu
B4 OSIEN VAIHTO		
B5 LAAJAMITTAISET KORJAUKSET		Ilmoitettava jos ei ole huomioitu
B6 ENERGIAN KÄYTTÖ		Laskentaperuste ilmoitettava
B7 VEDEN KÄYTTÖ		
B KÄYTTÖVAIHE YHTEENSÄ		
C1-C4 PURKUVAIHE YHTEENSÄ		Laskentaperuste ilmoitettava
A-C RAKENNUKSEN ELINKAARI YHTEENSÄ		
D ELINKAAREN ULKOPUOLISET VAIKUTUKSET		
KÄYTETTY DISKONTTAUSKORKO		Ilmoitetaan korkokanta
ARVONLISÄVERO SISÄLTYY TULOKSIIN		Ilmoitetaan sisältykö

5.5 Laskentamallien luotettavuus, herkkyystarkastelut

Elinkaarilaskennassa monet keskeiset muuttujat eivät ole tunnettuja, vaan ne joudutaan arvioimaan parhaan tietämyksen perusteella. Herkkyystarkastelun avulla selvitetään, kuinka suuri vaikutus tietyllä muuttujalla on kokonaisinvestointiin eli vaikuttaako tietty muuttuja elinkaarikustannuksiin niin paljon, että sen muutos saa aikaan muutoksen siinä, mikä järjestelmä on edullisin kokonaisratkaisu.

Tässä diplomityössä tarkastellaan laskentakorkokannan vaikutusta vaihtoehtoisten järjestelmien elinkaarikustannuksiin. Vertailu tapahtuu laskemalla elinkaarikustannukset kolmella eri korkokannalla: 3 %, 5 % ja 7 %.

6. JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄT

Tässä diplomityössä tarkastellaan Toukolan jäähdytysjärjestelmän toteuttamista kolmella vaihtoehtoisella tavalla: liuoslauhdutteisella järjestelmällä, järvivesilauhdutteisella järjestelmällä ja kaukojäähdytyksellä. Tässä luvussa esitellään eri jäähdytystekniikat ja tarkastellaan, miten jäähdytysjärjestelmät ovat käytännössä toteutettavissa näitä tekniikoita hyödyntäen ja mistä kustannukset koostuvat eri tekniikoita hyödyntäville järjestelmille.

Hankesuunnitelman mukaisesti liuoslauhdutteinen järjestelmä on varustettu vapaajäähdytyksellä. Jukola-Impivaaran jäähdytysjärjestelmän tavoin myös tutkittava järvivesilauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä on varustettu vapaajäähdytyksellä. Vapaajäähdytyksen hyödyntäminen on sidottu sääolosuhteisiin ja aikaväli, jolloin vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää, vaihtelee vuosittain. Liuoslauhdutteiselle järjestelmälle vapaajäähdytyksen käyttö riippuu ulkoilman lämpötilasta ja järvivesilauhdutteiselle järjestelmälle järviveden lämpötilasta. Jäähdyttävän aineen lämpötilan noustessa liian korkeaksi on vapaajäähdytyksestä siirryttävä koneellisesti tuotettuun jäähdytykseen. Luvuissa 6.1.1 ja 6.2.1 tarkastellaan, mille aikavälille voidaan olettaa, että vapaajäähdytys kattaa koko jäähdytystehon tarpeen.

Jäähdytysjärjestelmät on mitoitettu luvussa 2.2 esitettyjen tulosten perusteella. Jäähdytysjärjestelmät on mitoitettu jäähdytysteholle 203 kW. Laskennassa on oletettu, että jäähdytysverkoston häviöt ovat 10 % eli että jäähdytysenergian kulutus on $33\,571 \text{ kWh/vuosi} * 1,1 = 36\,900 \text{ kWh/vuosi}$.

Laskenta on suoritettu vesikiertoiselle jäähdytysjärjestelmälle, jossa on yksi 10/17 °C piiri, johon on liitetty sekä tuloilman jäähdytyspatterit että puhallinkonvektorit. Puhallinkonvektoreita on mitoitettu rakennukseen yhteensä 10 kappaletta, joista kahdeksan sijoittuu lääkejakotiloihin, yksi teletilaan ja yksi välinehuoltoon.

LVI-kortissa 01-10424 "Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajakset" on esitetty keskimääräiset käyttöiät jäähdytysjärjestelmien eri osille. Osille, joiden käyttö on ympärivuotista, käyttöikäarviot ovat 15–20 vuotta lukuun ottamatta kylmäkoneistoa, jolle käyttöikä arvio on 10–15 vuotta. Osille, joiden käyttö rajoittuu vain kesäaikaan, on annettu käyttöikäarvioksi 20 vuotta. [17, s. 26–27]

Diplomityössä tarkasteltavia järjestelmiä käytetään muulloinkin kuin pelkästään kesäaikaan, mutta ei kuitenkaan jatkuvasti vuoden ympäri. Kylmävesiasemien käyttö rajoittuu pelkästään kesäaikaan, koska vapaajäähdytyksellä saadaan katettua jäähdytystarve

muulloin. Arvioidaan, että jäähdytysjärjestelmien osien käyttöiät ovat 20 vuotta. Poikkeuksena ovat järvivesilauhdutteen järjestelmän osat, jotka ovat kosketuksissa järvi-veden kanssa. Näiden osien arvioidaan epäpuhtauksista johtuen kestävänsä puolet muiden osien käyttöiästä eli 10 vuotta.

6.1 Liuoslauhdutteinen jäähdytys

Perinteiseen höyryprosessiin perustuvan jäähdytyksen kierto koostuu neljästä päävaiheesta: kylmäaineen höyrystyminen höyrystimessä, höyryn puristaminen kompressorissa, kylmäaineen lauhtuminen lauhduttimessa ja kylmäaineen paisuminen kuristusventtiilillä. Kylmäaineen höyrystyminen tapahtuu matalassa paineessa, jolloin myös sen kiehumislämpötila on matala. Höyrystimessä kylmäaineen höyrystyminen sitoo energiaa ja jäähdyttää höyrystimeen virtaavaa jäähdytysverkoston vettä. Höyrystimestä kylmäaine virtaa kompressorille, jossa sen painetta nostetaan. Kun paine nousee, samalla nousee myös lauhtumislämpötila ja kun höyry virtaa kompressorilta lauhduttimelle, lauhduttimelle tuleva vesi- tai liuosvirta jäähdyttää kylmäainetta saaden sen lauhtumaan. Lauhduttimelta kylmäaine virtaa kuristusventtiilille, jossa sen paine laskee höyrystimen painetasolle ja osa nesteestä höyrystyy. Kuristusventtiililtä kylmäaine virtaa edelleen höyrystimelle ja toiminta jatkuu edellä esitetyllä tavalla.

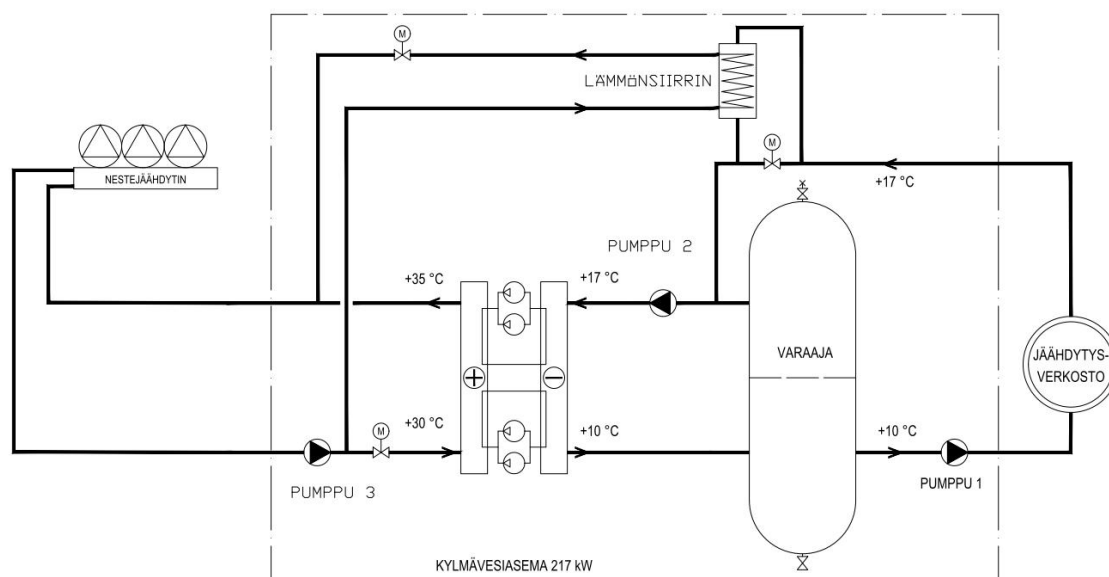
Höyryprosessi on toteutettavissa lukuisilla eri tavoilla ja kylmäaineilla. Prosessissa on aina enemmän vaiheita kuin edellä esitetyt neljä, mutta riippuu valitusta tavasta ja kylmäaineesta, kuinka monesta vaiheesta prosessi koostuu ja mitä säätö- ja varolaitteita tarvitaan edellä esitettyjen komponenttien lisäksi.

Liuoslauhdutteisissa järjestelmissä kylmäainetta jäähdyttää lauhduttimessa liuos, joka puolestaan jäähdytetään ulkoilmaan sijoitettavalla nestejäähdyttimellä. Ulos sijoitettavalle nestejäähdyttimelle virtaava neste ei voi olla vettä, sillä neste ei saa jäätymä pakka-sella, jotta järjestelmää voidaan käyttää ja jotta järjestelmä ei vaurioidu. Nestejäähdyt-timessä on puhaltimia, joilla saadaan aikaan suurempi ilmavirta ja sitä kautta tehok-kaampi lämmönsiirto jäähdyttimen pinnalla.

Järjestelmän etuna suoraan ilmalla lauhdutettuun järjestelmään verrattuna on, että neste-jäähdytintä lukuun ottamatta kaikki laitteet voidaan sijoittaa sisätiloihin. Kompaktissa järjestelmässä kallista ja myrkyllistä kylmäainetta tarvitaan pienempi määrä. [28, s. 258] Liuoslauhdutteinen järjestelmä on toteutettavissa riippumatta kohteen maantieteellisestä sijainnista, toisin kuin järvivesilauhdutteinen järjestelmä ja kaukojäähdytys järjestelmä, jotka voidaan toteuttaa ainoastaan järven tai kaukojäähdytysverkoston läheisyydessä.

6.1.1 Liuoslauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä

Tarkasteltavassa liuoslauhdutteisessa järjestelmässä kaikki laitteet sijoitetaan ylimmän kerroksen IV-konehuoneeseen, lukuun ottamatta nestejäähdytintä, joka sijoitetaan ulos vesikatolle. Liuosjäähdytteisen järjestelmän järjestelmäkaavio on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Liuoslauhdutteisen järjestelmän järjestelmäkaavio.

Seuraavaksi on esitetty järjestelmään valitut komponentit ja niiden sähkön kulutukset.

Kylmävesiasema ja nestejäähdytin

Kohteeseen on valittu kylmävesiasema, joka sisältää 4 kompressoria, höyrystimen, lauhduttimen, varaajan, pumput, vapaajäähdytyksen lämmönsiirtimen ja oheislaitteet. Kylmävesiaseman ja nestejäähdyttimen valinta on tehty Chiller Oy:n kotisivuilla olevalla Option-valintaohjelmalla. [29] Valitut tuotteet ovat Chiller Oy:n vapaajäähdytyksellä varustettu kylmävesiasema mallia CGIW-ECO-56 ja nestejäähdytin mallia CDMA. Lähtöarvot ja ohjelman antamat tulokset löytyvät liitteestä D. Kylmävesiaseman kylmäaine on R410A ja jäähdytysteho 217 kW. Vapaajäähdytyksellä ulkoilman lämpötilalla 7 °C jäähdytysteho on 39 kW. Lauhdutuspiirin liuos on etyleeniglykoli-vesiseos, jossa on 35 % etyleeniglykolia. Kylmävesiasema sisältää 800 litran varaajan.

Vedenjäähdytyskone on varustettu kolmella Grundfosin pumpulla, jotka on esitetty kuvan 11 järjestelmäkaaviossa. Pumput 1 ja 2 on mitoitettu vedenjäähdytyskoneen höyrystimen jäähdytysveden virtaamalla ja pumppu 3 lauhduttimen vesi-etyleeniglykoli-seoksen virtaamalla. Liitteen D vedenjäähdytyskoneen mitoituksista nähdään, että mitoitusteholla jäähdytysveden virtaama höyrystimellä on 7,4 l/s ja etyleeniglykolin virtaama lauhduttimella 8,9 l/s. Pumpun 1 piirille maksimipainehäviöksi arvioidaan 100 kPa, pumpun 2 piirille 60 kPa ja pumpun 3 piirille 200 kPa.

Pumput ovat Grundfosin NB- ja NBE-sarjan pumppuja. Pumppu 1, joka pumppaa vettä varaajalta jäähdytysverkostoon, on mallia NBE 40–200/219 A–F–A–BAQE ja sen sähköteho on 2,2 kW. Pumppu 2, joka pumppaa vettä höyrystimeltä varaajalle, on mallia NB–50–160/158 A–F–A–GQQE ja sen sähköteho on 1,1 kW. Pumppu 3 pumppaa etyleeniglykolia lauhduttimelta nestejäähdyttimelle. Vapaajäähdytystä käytettäessä pumppu pumppaa nesteen lauhduttimen sijasta lämmönsiirtimelle. Pumpun 3 malli on NBE 32–125/142 A–F–A–BQQE ja sen sähköteho on 3 kW. Pumput 1 ja 3 on varustettu taaajuusmuuttajilla.

Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytystä voidaan käyttää ulkoilman lämpötilan ollessa tarpeeksi matala. Laskennassa käytetyistä Vantaan testivuoden säätiedoista nähdään, että vapaajäähdytyksen mitoituksessa käytetty ulkolämpötila 7 °C ylitetään alkuvuonna ensimmäisen kerran helmikuussa, kun lämpötila nousee 6 tunniksi korkeimmillaan 8 °C. Huonelaitteiden maksimijäähdytysteho 0,19 kW on kuitenkin merkittävästi pienempi kuin vapaajäähdytyksen mitoitus-teho 39 kW ja voidaan olettaa vapaajäähdytyksen kattavan tehontarve. Huhtikuussa ja lokakuussa ulkolämpötila ylittää 7 °C noin puolina päivistä.

Oletetaan, että vapaajäähdytystä voidaan hyödyntää marraskuun alusta maaliskuun loppuun koko ajan ja että vapaajäähdytyksellä saadaan katettua puolet huhti- ja lokakuun kulutuksesta. Luvun 2 taulukosta 2 nähdään, että näiden kuukausien jäähdytystarpeen summaksi muodostuu 80 kWh/vuosi. Kun summaan lisätään 10 % jakeluhäviöt, saadaan vapaajäähdytyksellä tuotetun jäähdytysenergian määräksi 90 kWh/vuosi.

Rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) liitteessä jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas (2011) on annettu ohjeet jäähdytysjärjestelmän energiankulutuksen laskemiseen. Jäähdytysjärjestelmän tarvitsema sähköenergia $W_{\text{jäähdytys}}$ saadaan jakamalla sillä tuotettu jäähdytysenergia Q_{jk} koneen kylmäkertoimella ϵ_E eli

$$W_{\text{jäähdytys}} = Q_{\text{jk}} / \epsilon_E. \quad (10)$$

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan (2011) taulukossa 1 on annettu liuosjäähdyttimellä tuotetun vapaajäähdytyksen vuotuiselle kylmäkertoimelle ϵ_E arvo 5 [30, s. 6]. Vapaajäähdytyksen tuottamiseen tarvittavaksi sähköenergiaksi $W_{\text{vapaaäähdytys}}$ saadaan kaavalla (10) $W_{\text{vapaaäähdytys}} = 90 \text{ kWh/vuosi} / 5 = 18 \text{ kWh/vuosi}$.

Kylmävesiaseman energia

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan (2011) taulukossa 1 on annettu vesilauhdutteen kylmävesiaseman kylmäkertoimelle ϵ_E arvo 3. [30, s. 6] Kylmävesiasemalla tuotettu jäähdytysenergia Q_{jk} on $Q_{\text{jk}} = 36\,900 \text{ kWh/vuosi} - 90 \text{ kWh/vuosi} = 36\,800 \text{ kWh/vuosi}$. Sähköenergian kulutukseksi saadaan kaavalla (10)

$$W_{\text{jäähtytys}} = Q_{\text{jk}}/\epsilon_E = 36\,800 \text{ kWh/vuosi}/3 = 12\,300 \text{ kWh/vuosi}.$$

Pumppujen sähkön kulutus

Pumpun sähkön kulutus E_{pu} riippuu pumpun ottamasta sähkötehosta P_{pu} ja pumpun käyttöajasta t_{pu} kaavan (11) mukaisesti

$$E_{\text{pu}} = P_{\text{pu}} * t_{\text{pu}} \quad (11)$$

Pumput käyvät aina, kun järjestelmä on käytössä eli pumppujen käyttöaika t_{pu} on sama kuin järjestelmän käyttöaika. Luvun 2.2 kuvia 3 ja 5 vertaamalla nähdään, että tuloilman jäähdystystehon tarvetta ilmenee pitkälti samaan aikaan huonelaitteiden jäähdystystehon tarpeen kanssa. Arvioidaan jäähdystysjärjestelmän käytöksi huonelaitteiden pysyvyyskäyrän perusteella 3 800 tuntia vuodessa eli $t_{\text{pu}} = 3\,800 \text{ h/vuosi}$.

Pumpun ottama sähköteho riippuu pumpun nostokorkeudesta ja pumpun läpi kulkevasta tilavuusvirrasta. Pumpun nostokorkeus h_{pu} on $h_{\text{pu}} = p_{\text{pu}}/(\rho_v g)$, jossa p_{pu} on pumpun paineennosto [kPa], ρ_v veden tiheys $1\,000 \text{ kg/m}^3$ ja g putoamiskiihtyvyys $9,8 \text{ m/s}^2$. Pumpulle 1 painehäviötä 100 kPa vastaava pumpun nostokorkeus on $h = 100 \text{ kPa}/(1\,000 \text{ kg/m}^3 * 9,8 \text{ m/s}^2) = 10 \text{ m}$. Vastaavasti pumpulle 2 nostokorkeus on 6 m ja pumpulle 3 nostokorkeus on 20 m.

Pumpuille 1 ja 2 tilavuusvirta q_v riippuu jäähdystystehosta $P_{\text{jäähtytys}}$ kaavan (12) mukaisesti

$$q_v = \frac{P_{\text{jäähtytys}}}{c_{pv} * \rho_v * \Delta T} * 3600, \quad (12)$$

jossa c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti $4,2 \text{ kJ/(kgK)}$ ja ΔT vesivirran lämpötilan muutos 7 K . Jäähdystysteho vaihtelee tunneittain, mutta laskennan yksinkertaistamiseksi käytetään järjestelmän käyttöajan keskiarvoa jäähdystysteholle eli $36\,900 \text{ kWh}/3\,800 \text{ h} = 10 \text{ kW}$. Tilavuusvirraksi saadaan $q_v = \frac{10 \text{ kW}}{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 7 \text{ K}} * 3\,600 = 1,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Pumpun

3 tilavuusvirta määritetään lauhdutuspuolen virtaaman perusteella. Täydellä teholla lauhdepuolen virtaama on noin 1,2-kertainen höyrystinpuolen virtaamaan verrattuna. Arvioidaan pumpun 3 virtaamaksi $1,2 * 1,2 \text{ m}^3/\text{h} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

Grundfosin kotisivuilla olevista tuotetiedosta nähdään, että nostokorkeudella 10 m pumpun 1 minimivirtaama on $3 \text{ m}^3/\text{h}$ eli suurempi kuin keskimääräinen virtaama $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Pumppua on käytettävä vähintään minimivirtaamalla, joten pumpun sähkönkulutus lasketaan minimivirtaamaa vastaavalle teholle. Minimivirtaamaa vastaava sähköteho on $0,5 \text{ kW}$. Vastaavasti nostokorkeudella 6 m pumpun 2 minimivirtaama on $4 \text{ m}^3/\text{h}$ eli suurempi kuin keskimääräinen virtaama $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$. Minimivirtaamaa vastaava sähköteho on $0,7 \text{ kW}$. Pumpulle 3 nostokorkeudella 20 m minimivirtaama on $3 \text{ m}^3/\text{h}$ eli

suurempi kuin keskimääräinen virtaama $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Minimivirtaamaa vastaava sähköteho on 1 kW. [31]

Pumpun 1 sähkönkulutus on $E_{\text{pu}} = 0,5 \text{ kW} \cdot 3\,800 \text{ h/vuosi} = 1\,900 \text{ kWh/vuosi}$. Vastavasti pumpun 2 sähkönkulutus on 2 700 kWh/vuosi ja pumpun 3 sähkönkulutus on 3 800 kWh/vuosi. Pumppujen yhteenlaskettu sähkön kulutus on 8 400 kWh/vuosi.

Nestejäähdyttimen energia

Chillerin Option-valintaohjelmalla nähdään, että 10 kW järjestelmälle nestejäähdyttimen sähköteho on 0,76 kW [29]. Arvioidaan, että tarkasteltavalle järjestelmälle nestejäähdyttimen puhaltimien keskimääräinen teho on 0,8 kW. Kaavalla (11) saadaan puhaltimien energiankulutukseksi $0,8 \text{ kW} \cdot 3\,800 \text{ h/vuosi} = 3\,000 \text{ kWh/vuosi}$.

6.1.2 Liuoslauhdutteen jäähdytysjärjestelmän kustannusra- kenne

Koko rakennuksen elinkaarelle liuoslauhdutteen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset muodostuvat investointikustannuksista, huolto- ja korjauskustannuksista, energiakustannuksista, järjestelmän uusimisen kustannuksista ja järjestelmän purusta.

Liuoslauhdutteen jäähdytysjärjestelmän investointikustannus koostuu suunnittelutyöstä, tekniikkaosista ja asennustöistä. Suunnittelutyölle arvioidaan hinnaksi 4 800 euroa ja urakoinnille 15 000 euroa. Tekniikkaosien investointikustannus muodostuu kylmävesiaseman, pumppujen ja nestejäähdyttimen hinnoista. Chillerin CGIW-ECO-56 kylmävesiaseman budjettihinta on 45 000 euroa alv 0 % [32]. Hinta sisältää toimituksen työmaalle, käynnistyksen ja käytönopastuksen. Kylmävesiaseman kaksi pumppua varustetaan taajuusmuuttajilla, jotka maksavat 1 300 euroa kappale eli yhteensä 2 600 euroa alv 0 % [32]. Nestejäähdyttimen ja puhaltimien taajuusmuuttajakeskuksen budjettihinta on 26 000 euroa alv 0 % [32]. Yhteenlaskettu investointikustannus on 93 000 euroa alv 0 %.

Vuotuisten huolto- ja korjauskustannusten arvioidaan olevan samaa luokkaa kuin Tietotalossa eli 15 euroa/kW/vuosi. Huolto- ja korjauskustannuksiksi arvioidaan 3 000 euroa/vuosi. Huolto- ja korjaustoimenpiteiden elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla (2).

Järjestelmän sähkön kulutus muodostuu kylmävesiaseman, vapaajäähdytyksen, pumppujen ja nestejäähdyttimen sähkön kulutuksista. Vapaajäähdytyksen sähkön kulutus 18 kWh on niin vähäistä, että se voidaan jättää laskelmissa huomioon ottamatta. Koko järjestelmän sähkönkulutukseksi saadaan $12\,300 \text{ kWh/vuosi} + 8\,400 \text{ kWh/vuosi} + 3\,000 \text{ kWh/vuosi} = 23\,700 \text{ kWh/vuosi}$. Sähkön kulutuksen elinkaarikustannukset lasketaan kaavoilla (4) ja (5).

Järjestelmän uusimisen kustannuksen voidaan olettaa olevan samansuuruinen kuin alkuperäisen investointikustannuksen. Järjestelmän purun kustannusten voidaan olettaa olevan samansuuruiset kuin järjestelmän urakoinnin osuus eli 15 000 euroa. Järjestelmän uusimisen ja purun kustannukset diskontataan nykyhetkeen kaavalla (1).

6.2 Järvivesilauhdutteinen jäähdytys

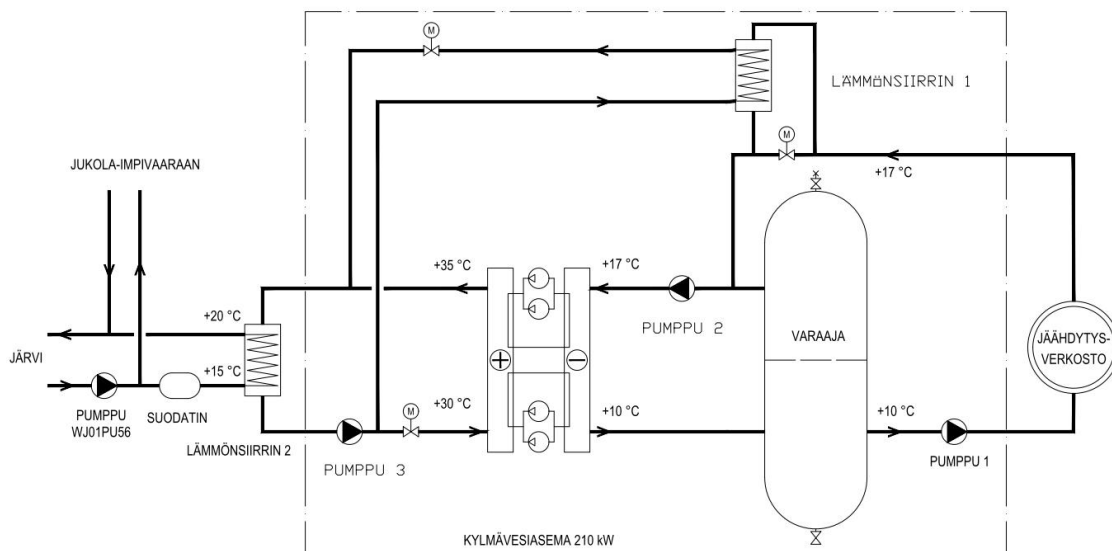
Järvivesilauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä on toimintaperiaatteeltaan pitkälti samanlainen kuin liuoslauhdutteinen järjestelmä eli jäähdytys tuotetaan kompressorien avulla. Ero järjestelmien välillä on, että lauhduttimessa kylmäainetta lauhduttava aine on vettä eikä liuosta ja että sitä puolestaan jäähdytetään järvivedellä eikä ulkoilmalla.

Etuna järvivesilauhdutteisessa järjestelmässä on pienempi jäähdyttävän aineen tilavuusvirta. Kaavasta (12) nähdään, että jos jäähdytysteho ja lämpötilaero pysyvät vakioina, niin jäähdyttämiseen tarvittava tilavuusvirta riippuu ominaislämpökapasiteetista ja tiheydestä. Veden tiheys on $1\,000\text{ kg/m}^3$ ja ominaislämpökapasiteetti $4,2\text{ kJ/(kgK)}$ eli vedelle $c_{pv} \cdot \rho_v = 4\,200\text{ kJ/(Km}^3\text{)}$. Ilman tiheys on $1,2\text{ kg/m}^3$ ja ominaislämpökapasiteetti $1,0\text{ kJ/(kgK)}$ eli ilmalle $c_{pi} \cdot \rho_i = 1,2\text{ kJ/(Km}^3\text{)}$. Veden ja ilman tiheyksien ja ominaislämpökapasiteettien tulojen suhde on $4\,200/1,2 = 3\,500$. Jäähdytystehon ja lämpötilaeron ollessa samat ilmaa tarvitaan siis 3 500-kertainen tilavuusvirta saman jäähdytystehon tuottamiseksi.

Kesäisin jäähdytystehon ollessa suurimmilla järven pohjaveden lämpötila on merkittävästi alhaisempi ja vähemmän altis vaihteluille kuin ulkoilman lämpötila. Alhaisempi järviveden lämpötila pidentää vapaajäähdytyksen käyttöaikaa ja alhaisempi lauhdutuslämpötila parantaa kylmävesiaseman kylmäkerrointa. [28, s. 256]

6.2.1 Järvivesilauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä

Tarkasteltavassa järvivesilauhdutteisessa järjestelmässä kaikki laitteet sijoitetaan kellarikerroksen teknisiin tiloihin. Luvussa 3.1.2 on todettu, että Jukola-Impivaaran järjestelmä on mitoitettu jäähdytyksen lisäksi järviveden lämmöntalteenotolle tuloilman esilämmitystä varten. Lämmöntalteenoton järjestelmä on kuitenkin purettu pois, eli pumpu ja järvelle menevät putket on mitoitettu suuremmalle järjestelmälle, kuin mikä Jukola-Impivaarassa on käytössä. Toukolan kellarikerroksesta tulee kulkemaan huoltotunneli suoraan Jukola-Impivaaran kellarikerrokseen. Etäisyyttä teknisten tilojen välillä on huoltotunnelia pitkin noin 200 metriä. Tarkasteltavassa järjestelmässä yhdistetään Toukolan jäähdytysjärjestelmän järvivesiputket Jukola-Impivaaran järvivesiputkiin siten, että Jukola-Impivaaran pumppu WJ01PU56 pumppaa vettä molemmille jäähdytysjärjestelmille. Järjestelmäkaavio on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Järvivesilauhdutteen järjestelmän järjestelmäkaavio.

Seuraavaksi on esitetty järjestelmään valitut komponentit ja niiden sähkön kulutukset.

Kylmävesiasema

Kohteeseen on valittu kylmävesiasema, joka sisältää 4 kompressoria, höyrystimen, lauhduttimen, 800 litran varaajan, pumpun, vapaajäähdytyksen lämmönsiirtimen ja oheislaitteet. Kylmävesiaseman valinta on tehty Chiller Oy:n Option-valintaohjelmalla. [29] Valittu kylmävesiasema on Chiller Oy:n vapaajäähdytyksellä varustettu kylmävesiasema mallia CGIW-ECO-48. Lähtöarvot ja ohjelman antamat tulokset löytyvät liitteestä E. Kylmävesiaseman kylmäaine on R410A ja jäähdytysteho 210 kW.

Vedenjäähdytyskone on varustettu kolmella Grundfosin NB- ja NBE-sarjan pumpulla, jotka on esitetty kuvan X järjestelmäkaaviossa. Pumppujen mallit ovat samat kuin liuos-lauhdutteen järjestelmän pumpun. Pumppu 1 ja 3 on varustettu taajuusmuuttajilla. Pumppu 3 pumpkaa vettä lauhduttimelta lämmönsiirtimelle 1. Vapaajäähdytystä käytettäessä pumppu pumpkaa vettä lauhduttimen sijasta lämmönsiirtimelle 2. Pumpun 3 piirille maksimipainehäviöksi arvioidaan 200 kPa. Pumppu 3 on mitoitettu lauhduttimen mitoitustehon veden virtaamalla, joka liitteen E vedenjäähdytyskoneen mitoituksen mukaan on 11,9 l/s.

Lämmönsiirrin 2

Lämmönsiirtimen 2 lämpöteho mitoitetaan kylmävesiaseman lauhdetehon perusteella. Liitteen E kylmävesiaseman mitoituksesta nähdään, että lauhdeteho on 248 kW. Siirtimen mitoituksessa on otettava huomioon, että järvivedessä olevat epäpuhtauden kertyvät lämmönsiirtimeen ajan mittaan ja huonontavat sen lämmönsiirto-ominaisuuksia. Mitoitetaan lämmönsiirrin lämpöteholla 300 kW. Mitoituksessa käytetään samoja järvi-

den lämpötiloja kuin Jukola-Impivaaran lämmönsiirtimen WJ01LS01 mitoituksessa eli 10/15 °C. Liitteen E kylmävesiaseman mitoituksesta nähdään, että lauhdepuolella mitoitustämpötilat ovat 30/35 °C.

Lämmönsiirrin on mitoitettu Danfossin valintaohjelmalla Danfoss Heating Substation Dimensioning Program 3.30 [33]. Järjestelmään on valittu avattava lämmönsiirrin, jotta se voidaan tarvittaessa puhdistaa mekaanisesti. Ohjelmalla mitoitettu lämmönsiirrin on mallia XG 31-96L ja sen mitoitus löytyy liitteestä E. Lämpöteholla 300 kW virtaama sekä ensiö- että toisiopuolella on 14 l/s.

Suodatin

Järjestelmään on valittu itsepuhdistuva Amiad SAF 1 500 suodatin, jolla pystytään suodattamaan enintään 80 m³/h. Suodattimen paine-eron kasvaessa liian suureksi, suodatin puhdistaa itse itsensä ilman, että virtaus laitteen läpi pysähtyy. [34]

Pumppu WJ01PU56

Luvussa 3.1.2 on kerrottu, että Jukola-Impivaaran pumppu WJ01PU56 on mitoitettu nostokorkeudelle 15 m ja virtaamalle 22 l/s, josta jäähdytysjärjestelmän osuus on 12 l/s. Toukolan piirin maksimivirtaama on lämmönsiirtimen 2 virtaama 14 l/s eli koko pumpulle virtaama on yhteensä 26 l/s. Jukola-Impivaaran kellarikerros sijaitsee korkeudella +99.470 m [14, s. 28]. Liitteestä B nähdään, että Toukolan kellarikerros on korkeudella +98.630 eli 0,8 m alempana. Arvioidaan, että Toukolan piirin painehäviö on hyvin lähellä samaa kuin Jukola-Impivaaralle eli 150 kPa. Grundfosin kotisivuilla olevista tuotetiedoista nähdään, että pumpun mitoituksessa on varaa kasvattaa virtaamaa arvoon 26 l/s. [31]

Vapaajäähdytyksen energia

Jukola-Impivaaran imuputken pää sijaitsee Näsijärven pohjassa. Tarkkaa tietoa Näsijärven pohjan veden lämpötilasta eri kuukausina ei ole saatavilla. Vesi on tiheimmillään lämpötilassa 4 °C ja veden tiheyseroista johtuen järvivesi kerrostuu niin, että kylmä vesi painuu kesäisin järven pohjaan. Mitoitetaan vapaajäähdytys järviveden lämpötilalla 7 °C ja virtaamalla 13 l/s. Danfossin valintaohjelmasta saadaan lämmönsiirtimen lämpötehoksi vapaajäähdytyksellä 75 kW.

Luvun 2 taulukosta 2 nähdään, että jäähdytysteho ylittää 75 kW kesäkuun ja elokuun välillä. Laskennassa on oletettu, että vapaajäähdytyksellä saadaan katettua jäähdytystehontarve syyskuun alusta toukokuun loppuun. Jäähdytysenergian tarve syys-toukokuulle on 2 475 kWh ja kun siihen lisätään 10 % häviöt, jäähdytysenergian tarve on 2 700 kWh/vuosi.

Järvivesilauhdutteiselle järjestelmälle vapaajäähdytyksen käyttämä sähköenergia muodostuu pumppujen käyttämästä sähköenergiasta. Pumppujen käyttämä vuotuinen energia on laskettu kohdassa pumppausenergia.

Kylmävesiaseman energia

Kylmävesiaseman kylmäkertoimelle ϵ_E käytetään Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan (2011) taulukossa 1 annettua arvoa vesilauhdutteiselle kylmävesiasemalle eli $\epsilon_E = 3$. Kylmävesiasemalla tuotettu jäähdytysenergia Q_{jk} on $Q_{jk} = 36\,900 \text{ kWh/vuosi} - 2\,700 \text{ kWh/vuosi} = 34\,200 \text{ kWh/vuosi}$. Sähköenergian kulutukseksi saadaan kaavalla (10) $W_{\text{jäähdytys}} = Q_{jk}/\epsilon_E = 34\,200 \text{ kWh/vuosi}/3 = 11\,400 \text{ kWh/vuosi}$.

Pumppujen sähkön kulutus

Pumppujen 1 ja 2 sähkönkulutukset ovat vastaavat kuin liuoslauhdutteen järjestelmän pumppujen 1 ja 2 sähkönkulutukset eli $1\,900 \text{ kWh/vuosi}$ ja $2\,700 \text{ kWh/vuosi}$. Pumpun 3 energiankulutus lasketaan luvussa 6.1.1 esitetyllä tavalla. Pumpun 3 piirin maksimipainehäviöksi on arvioitu 200 kPa , jota vastaava nostokorkeus on 20 metriä . Pumpun tilavuusvirta määritetään lauhdutuspuolen virtaaman perusteella. Täydellä teholla lauhdepuolen virtaama on 1,5-kertainen höyrystinpuolen virtaamaan verrattuna. Arvioidaan pumpun 3 virtaamaksi $1,5 \cdot 1,2 \text{ m}^3/\text{h} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Luvussa 6.1.1 on todettu, että kyseisen pumppumallin minimivirtaama nostokorkeudelle 20 m on $3,0 \text{ m}^3/\text{h}$ eli suurempi kuin pumpulle 3 laskettu virtaama. Pumpun on käytävä vähintään minimivirtaamalla, joten pumpun sähkönkulutus lasketaan minimivirtaamaa vastaavalle teholle. Pumpun minimivirtaamaa vastaava teho on $1,0 \text{ kW}$ ja sitä vastaava sähkönkulutus $3\,800 \text{ kWh/vuosi}$.

Toukolan jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannuksia tarkasteltaessa tarvitsee selvittää, mikä osa pumpun WJ01PU56 kuluttamasta energiasta tulee kohdistaa Toukolan jäähdytysjärjestelmälle. Toukolan ja Jukola-Impivaaran järjestelmät ovat samaa kokoluokkaa ja koska sääolot ovat samat, voidaan olettaa, että jäähdytystehon tarvetta ilmenee pääsääntöisesti samanaikaisesti. Arvioidaan, että Toukolan osuus pumpun sähkön kulutuksesta on puolet siltä ajalta, kun Toukolan jäähdytysjärjestelmää käytetään eli $3\,800$ tuntia vuodessa. Arvioidaan, että Jukola-Impivaaran ja Toukolan yhteenlaskettu virtaama on keskimäärin $3 \text{ m}^3/\text{h}$. Grundfosin kotisivuilla olevista tuotetiedoista nähdään, että kyseisellä pumppumallilla nostokorkeudella 15 m pienin mahdollinen virtaama on $10 \text{ m}^3/\text{h}$ ja sitä vastaava pumpun ottama sähköteho on $3,0 \text{ kW}$ [31]. Pumpun WJ01PU56 sähkön kulutukseksi saadaan $E_{pu} = 3,0 \text{ kW} \cdot 3\,800 \text{ h/vuosi}/2 = 5\,700 \text{ kWh/vuosi}$. Kaikkien järjestelmän pumppujen yhteenlaskettu sähkön kulutus on $14\,100 \text{ kWh/vuosi}$.

6.2.2 Järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän kustannusrakenne

Koko rakennuksen elinkaarelle järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset muodostuvat samoista komponenteista kuin liuoslauhdutteiselle järjestelmälle eli investointikustannuksista, huolto- ja korjauskustannuksista, energiakustannuksista, järjestelmän uusimisen kustannuksista ja järjestelmän purusta.

Järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän investointikustannus koostuu suunnittelutyöstä, tekniikkaosista ja asennustöistä. Suunnittelutyölle arvioidaan hinnaksi 6 800 euroa ja urakoinnille 126 000 euroa. Tekniikkaosien investointikustannus muodostuu kylmävesiaseman, pumppujen, lämmönsiirtimeen ja suodattimen hinnoista. Chillerin CGIW-ECO-48 kylmävesiaseman budjettihinta on 42 000 euroa alv 0 % [32]. Hintaa sisältää toimituksen työmaalle, käynnistyksen ja käytönopastuksen. Kylmävesiaseman kaksi pumppua varustetaan taajuusmuuttajilla, jotka maksavat 1 300 euroa kappale eli yhteensä 2 600 euroa alv 0 % [32]. Danfossin XG 31–96L lämmönsiirrin maksaa 5 600 euroa alv 0 % [35]. Amiad SAF 1 500 suodatin maksaa arviolta 8 000–10 000 euroa alv 0 % [36]. Käytetään laskennassa suodattimelle hintaa 9 000 euroa alv 0 %. Yhteenlaskettu investointikustannus on 192 000 euroa alv 0 %.

Huolto- ja korjauskustannusten oletetaan olevan samat kuin liuoslauhdutteiselle järjestelmälle eli 3 000 euroa/vuosi. Huolto- ja korjaustoimenpiteiden elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla (2).

Järjestelmän sähkön kulutus muodostuu kylmävesiaseman, vapaajäähdytyksen ja pumppujen sähkön kulutuksista. Koko järjestelmän sähkönkulutukseksi saadaan $11\,400 \text{ kWh/vuosi} + 14\,100 \text{ kWh/vuosi} = 25\,500 \text{ kWh/vuosi}$. Sähkön kulutuksen elinkaarikustannukset lasketaan kaavoilla (4) ja (5).

Järjestelmän uusimisen kustannuksen voidaan olettaa olevan samansuuruinen kuin alkuperäinen investointikustannus eli 192 000 euroa. Järviveden sisältämistä epäpuhtauksista johtuen järjestelmän osien eli lämmönsiirtimeen 2 ja suodattimen ei voida olettaa kestävän yhtä kauan kuin muiden osien. Näiden osien uusimisen kustannukseksi arvioidaan 20 000 euroa. Järjestelmän puron kustannusten voidaan olettaa olevan samansuuruiset kuin järjestelmän urakoinnin osuus eli 126 000 euroa. Järjestelmän uusimisen ja puron kustannukset diskontataan nykyhetkeen kaavalla (1).

6.3 Kaukojäähdytys

Kaukojäähdytys tarkoittaa jähdytysenergian keskitettyä tuottamista ja jakelua asiakkaille jähdytysverkoston välityksellä. Kaukojäähdytysverkossa kiertävää vettä voidaan jähdyttää esimerkiksi lämpöpumpulla, absorptiokoneistolla, kompressorilla tai vapaajäähdytyksellä eli hyödyntämällä ulkoilmaa tai meri- tai järvivettä. Kaukojäähdytys-

verkkoon liitettyssä rakennuksessa ensiöpuolen eli kaukojäähdytysverkon putket viedään rakennuksen tekniseen tilaan, jossa sijaitsevat mittauskeskus ja kaukokylmän jakokeskus. Lämmönsiirrin erottaa ensiöpuolen ja toisiopuolen eli rakennuksen jäähdytykseen tarkoitetun verkoston. Rakennuksen ylimääräinen lämpöenergia johdetaan kaukojäähdytysverkostoon lämmönsiirtimen kautta. Toisiopuolen verkostossa kiertävä vesi jäähdyttää rakennusta eli se virtaa tuloilman jäähdytyspattereille ja huonelaitteille. [37]

Tampereella kaukojäähdytystä tuottaa ja myy Tampereen Kaukolämpö Oy. Tampereella kaukojäähdytysverkoston jäähdytys tuotetaan kompressorilla. Tampereen Kaukolämpölaitoksella on rakenteilla kaukojäähdytyslaitos Tampereen Veden Kaupinojan pintavesilaitoksen yhteyteen Näsijärven rantaan. Tulevan kaukojäähdytyslaitoksen on määrä valmistua vuonna 2016 ja hyödyntää Näsijärven syvänteistä pumpattavaa kylmää vettä vapaajäähdytykseen. [38]

Kaukojäähdytys on lisääntynyt Suomessa nopealla tahdilla 2000-luvulla. Vuosien 2001 ja 2014 välillä kaukojäähdytysenergian myynti kasvoi noin 5 000 MWh:sta yli 190 000 MWh:iin [39]. Kaukojäähdytystä käytetään mm. toimistoissa, liiketiloissa, myymälöissä ja asuinkiinteistöissä. Pienemmän tilantarpeen lisäksi kaukojäähdytyksen etuja ovat, että lauhdutusyksiköitä ei tarvita ja että säästytään jäähdytuskoneiden aiheuttamalta melulta ja tärinältä sekä niiden huolto- ja kunnossapitokustannuksilta. Koska kaukojäähdytyksessä ei käytetä kylmäainena perinteisiä HCFC-yhdisteitä, kylmäainevuodon riskiä ei ole ja yhdisteisiin tulevaisuudessa mahdollisesti kohdistuvat rajoitukset ja kiellot eivät aiheuta kustannuksia kaukojäähdytyksen piirissä oleville kiinteistöille. [40]

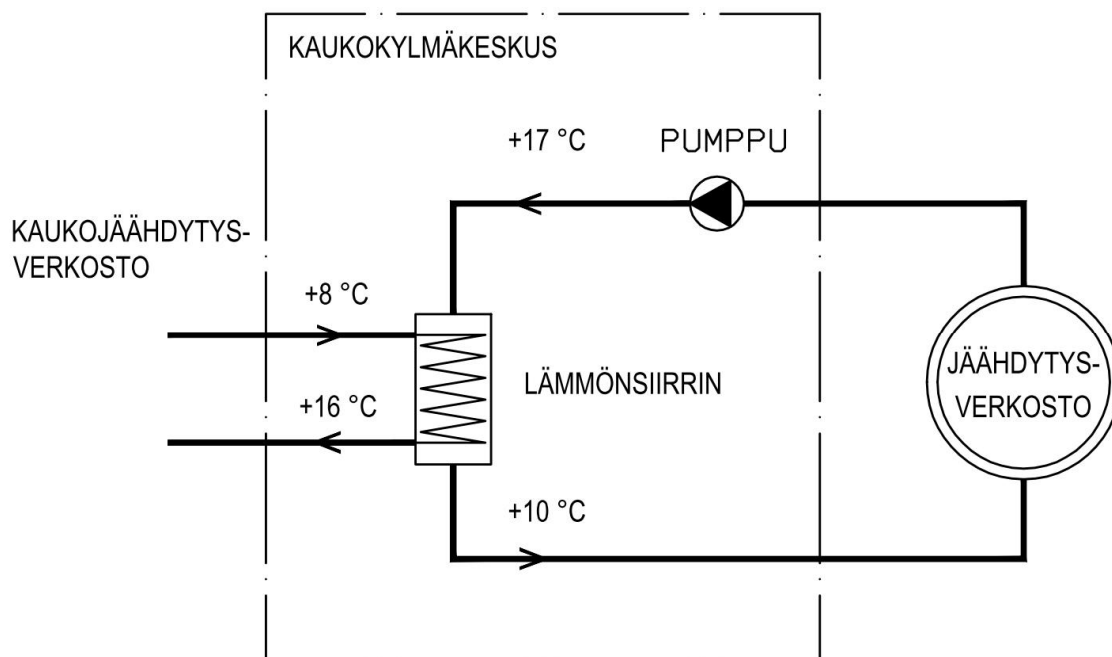
6.3.1 Kaukojäähdytysjärjestelmä

Tarkasteltavassa järjestelmässä kaukojäähdytyksen liittymisjohdot tuodaan Toukolan pohjakerroksen teknisiin tiloihin, joihin sijoitetaan mittauskeskus ja kaukokylmän jakokeskus. Kaukojäähdytysverkkoon liittyessään asiakas ostaa kaukojäähdytyksen myyjältä tietyn kokoisen kaukojäähdytysliittymän. Kaukojäähdytysliittymien koot määrittävät sopimusvesivirran mukaan. Sopimusvesivirtaa q_v vastaava jäähdytysteho $P_{\text{jäähdytys}}$ määritetään yhtälöllä (12). Tampereen Kaukolämpö Oy:n kaukojäähdytysverkossa veden menolämpötila on 8 °C ja paluulämpötila 16 °C, eli vesivirran lämpötilan muutos lämmönsiirtimessä ΔT on 8 K. Tehontarvetta 203 kW vastaava vesivirta q_v saadaan kaavalla (12)

$$q_v = \frac{203 \text{ kW}}{\frac{4,2 \text{ kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot 8 \text{ K}} \cdot 3600 = 21,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}.$$

Kaukojäähdytysliittymien sopimusvesivirtojen koot kasvavat 2 m³/h välein ja arvoa 21,8 m³/h lähin seuraavaksi suurin koko on 22 m³/h.

Tutkitaan järjestelmää, joka on toteutettu kaukokylmäkeskuksella. Kaukokylmän jakokeskuksella tarkoitetaan kokonaisuutta, joka sisältää lämmönsiirtimen, venttiilit, pumpun, pumppuohjauskeskuksen, automatiikan, putket ja muut oheislaitteet. Kaukojäähdytysjärjestelmän järjestelmäkaavio on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Kaukojäähdytyksen järjestelmäkaavio.

Seuraavaksi on esitetty järjestelmään valitut komponentit ja niiden sähkön kulutukset.

Kaukokylmäkeskus

Valitaan HögforsGST Oy:n kaukokylmäkeskus, jonka mitoitus ja tekniset tiedot löytyvät liitteestä F. Kaukokylmäkeskuksessa on Högforsin lämmönsiirrin mallia GCD-044-m-5-PR-58. Järjestelmässä on yksi pumppu, joka pyörittää jäähdytysverkoston vettä. Liitteen F mitoituksesta nähdään, että lämmönsiirtimen toisiopuolen virtaama on 7 l/s ja painehäviö 30 kPa. Piirin maksimipainehäviöksi arvioidaan 100 kPa. Pumppu on valmistajan Wilo mallia DP-E 40/120-1,5/2-R1. [41] Valmistajan kotisivuilta löytyy pumpun tekniset tiedot, joista nähdään, että pumpun sähköteho on 2,0 kW. [42]

Pumpun sähkön kulutus

Pumppausenergian kulutus lasketaan luvussa 6.1.1 esitetyllä tavalla. Pumpun tilavuusvirraksi q_v arvioidaan 1,2 m³/h. Toisiopuolen piirin painehäviöksi arvioidaan 100 kPa, jota vastaava pumpun nostokorkeus on 10 m. Valmistajan kotisivuilta löytyvistä pumpun ominaiskäyristä nähdään, että nostokorkeuden ollessa 10 m pumpun minimivirtaama on 2 m³/h eli suurempi kuin arvioitu keskimääräinen pumpun virtaama. Pumppua on käytettävä vähintään minimivirtaamalla, joten pumpun sähkönkulutus lasketaan mini-

mivirtaamaa vastaavalle teholle 0,5 kW. [42] Kaavalla (11) laskettu pumpun sähkönkulutus on $E_{pu} = 0,5 \text{ kW} \cdot 3\,800 \text{ h/vuosi} = 1\,900 \text{ kWh/vuosi}$.

Kaukojäähdytysenergian kulutus

Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaoppaan (2011) taulukossa 1 on annettu kaukojäähdytykselle jäähdytysenergian tuottoprosessin vuotuisen kylmäkertoimen arvoksi 1. [30, s. 6] Kaavalla (10) saadaan määritettyä, että ostettu kaukojäähdytysenergia on sama kuin rakennuksen jäähdytysenergian kulutus eli $W_{\text{kaukojäähdytys}} = 36\,900 \text{ kWh/vuosi} / 1 = 36\,900 \text{ kWh/vuosi}$.

6.3.2 Kaukojäähdytysjärjestelmän kustannusrakenne

Koko rakennuksen elinkaarelle kaukojäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset muodostuvat investointikustannuksista, energiakustannuksista, järjestelmän uusimisen kustannuksista ja järjestelmän purusta. Huolto- ja korjauskustannukset ovat järjestelmälle niin vähäiset, että ne voidaan jättää huomioon ottamatta.

Kaukojäähdytysjärjestelmän investointikustannus koostuu suunnittelutyöstä, tekniikkaosista, asennustoista ja liittymismaksusta. Suunnittelutyölle arvioidaan hinnaksi 3 500 euroa ja urakoinnille 18 000 euroa. Högforsin kaukokylmäkeskuksen hinta on 13 675 euroa alv 0 %. [41] Kaukojäähdytysliittymien hinnoittelu on tapauskohtaista johtuen kaukojäähdytysverkon suhteellisen pienestä kattavuudesta. Toukolan kaukojäähdytysliittymä hinnoittelussa on oletettu, että Koukkuniemen alueella liittyisi lähi vuosina kaukojäähdytyksen piiriin myös muita uudisrakennuksia, jolloin kustannukset kaukojäähdytysverkon rakentamisesta alueelle kohdistuisivat tasapuolisesti eri liittyjille. Tampereen Kaukolämpö Oy:ltä saatu arvio kokoluokaltaan $22 \text{ m}^3/\text{h}$ kaukojäähdytysliittymän hinnasta Koukkuniemen alueella on 84 350 euroa alv 0 %. [43] Yhteenlaskettu investointikustannus on 120 000 euroa alv 0 %.

Järjestelmän sähkön kulutus muodostuu pumpun sähkönkulutuksesta ja on 1 900 kWh/vuosi. Sähkön kulutuksen elinkaarikustannukset lasketaan kaavoilla (4) ja (5). Kaukojäähdytysenergian kulutus on 36 900 kWh/vuosi. Kaukojäähdytyksen energiamaksu on 27 euroa/MWh ja vesivirtaa $22 \text{ m}^3/\text{h}$ vastaava tehomaksu 473,33 euroa/kk [44]. Ensimmäiselle vuodelle kaukojäähdytysenergian kustannukseksi saadaan kaavalla (8)

$$K_{\text{jäähdytys}} = 12 \text{ kk} \cdot 473,33 \frac{\text{euroa}}{\text{kk}} + 27 \frac{\text{euroa}}{\text{MWh}} \cdot 36\,900 \frac{\text{kWh}}{\text{vuosi}} = 6\,700 \frac{\text{euroa}}{\text{vuosi}}$$

Kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset lasketaan kaavalla (9).

Kaukojäähdytysjärjestelmän uusimisen kustannus perustuu investointikustannukseen, mutta siinä ei tarvitse ottaa huomioon liittymän hintaa, koska liittymishinta on kerta-

luonteinen kustannus, jolla ostetaan pysyvä oikeus olla liittyneenä kaukojäähdytysverkkoon. Järjestelmän uusimisen kustannukseksi arvioidaan 35 000 euroa. Järjestelmän purun kustannusten voidaan olettaa olevan samansuuruiset kuin järjestelmän urakoinnin osuus eli 18 000 euroa. Järjestelmän uusimisen ja purun kustannukset diskontataan nykyhetkeen kaavalla (1).

7. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

7.1 Elinkaarikustannukset

Tässä luvussa on laskettu elinkaarikustannukset eri jäähdytysjärjestelmille 50 vuoden ajalta kolmella eri korkokannalla 3 %, 5 % ja 7 %. Huolto- ja korjaustoimenpiteiden elinkaarikustannukset on laskettu kaavalla (2), sähkön kulutuksen elinkaarikustannukset kaavoilla (4) ja (5), kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset kaavalla (9), ja järjestelmän uusimisen ja purun elinkaarikustannukset kaavalla (1). Luvuissa 7.1.1–7.1.3 on esitetty taulukoissa järjestelmäkohtaiset elinkaarikustannukset eri korkokannoille.

7.1.1 Liuoslauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä

Taulukoissa 9–11 on esitetty elinkaarikustannukset liuoslauhdutteiselle järjestelmälle eri korkokannoilla.

Taulukko 9. *Liuoslauhdutteisen jäähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset 3 % korkokannalla.*

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	93	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	93	
B1 käyttö		Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B2 kunnossapito	80	Huomioitu kohdassa kunnossapito
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		
B5 laajamittaiset korjaukset	80	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	110	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	270	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	12	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	375	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	3	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukko 10. Liuoslauhdutteen jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset 5 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	93	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	93	
B1 käyttö		
B2 kunnossapito	58	Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B5 laajamittaiset korjaukset	48	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	68	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	174	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	5	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	272	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	5	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukko 11. Liuoslauhdutteen jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset 7 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	93	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	93	
B1 käyttö		
B2 kunnossapito	44	Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B5 laajamittaiset korjaukset	30	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	46	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	120	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	2	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	215	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	7	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukoista 9–11 nähdään, että elinkaarikustannukset järjestelmille ovat 3 % korkokannalla 375 000 euroa, 5 % korkokannalla 272 000 euroa ja 7 % korkokannalla 215 000 euroa. Elinkaarikustannukset laskevat samalla, kun korkokanta kasvaa, koska korkeampi korkokanta vähentää rahan arvoa.

Taulukoista 9–11 nähdään, että investointikustannus 93 000 euroa pysyy samana riippumatta korkokannasta. Investointikustannus kohdistuu laskennan ensimmäiselle vuodelle, joten sitä ei diskontata eikä korkokanta siis vaikuta sen suuruuteen. Elinkaarikustannusten kaikki muut osat diskontataan ja korkokanta vaikuttaa niiden suuruuteen. Tästä johtuen investointikustannuksen osuus elinkaarikustannuksesta kasvaa korkokannan noustessa. Korkokannalla 3 % investointikustannus muodostaa 25 % elinkaarikustannuksista, kun korkokannalla 5 % osuus on 34 % ja korkokannalla 7 % osuus on 43 %.

Taulukoista 9–11 nähdään, että korkokannalla 3 % kunnossapitokustannukset ja järjestelmän uusimisen kustannukset ovat yhtä suuret, kun taas korkokannoilla 5 ja 7 % kunnossapitokustannukset ovat suuremmat kuin järjestelmän uusimiset kustannukset. Järjestelmän uusimisen kustannukset ajoittuvat 20 ja 40 vuoden kohdalle, kun taas kunnossapitokustannukset jakautuvat tasaisesti koko tarkastelujaksolle. Korkokannan kasvaminen vaikuttaa kustannuksien nykyarvoon sitä enemmän, mitä pidemmälle tulevaisuuteen kustannukset ajoittuvat. Tästä johtuen pidemmälle tulevaisuuteen sijoittuvat järjestelmän uusimisen kustannukset muuttuvat enemmän korkokannan kasvaessa.

Taulukoista 9–11 nähdään, että korkokannalla 3 % energian käytön kustannus on suurempi kuin investointikustannus, kun taas korkokannoilla 5 ja 7 % investointikustannus on suurempi kuin energian käytön kustannus. Korkokanta vaikuttaa siihen, miten energian käytön ja investoinnin kustannukset painottuvat elinkaarikustannuksissa.

Taulukoista 9–11 nähdään, että purkukustannusten osuus elinkaarikustannuksista on hyvin vähäinen kaikilla tarkastelluilla korkokannoilla. Tämä johtuu siitä, että purkukustannukset ajoittuvat niin kauas tulevaisuuteen, että rahan ehtii menettää merkittävän osan arvostaan.

7.1.2 Järvivesilauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä

Taulukoissa 12–14 on esitetty elinkaarikustannukset järvivesilauhdutteiselle järjestelmälle eri korkokannoilla.

Taulukko 12. Järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset 3 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	192	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	192	
B1 käyttö		
B2 kunnossapito	80	Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B5 laajamittaiset korjaukset	188	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	118	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	386	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	30	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	608	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	3	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukko 13. Järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset 5 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	192	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	192	
B1 käyttö		
B2 kunnossapito	58	Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B5 laajamittaiset korjaukset	117	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	73	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	248	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	12	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	452	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	5	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukko 14. Järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset 7 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	192	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	192	
B1 käyttö		
B2 kunnossapito	44	Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B5 laajamittaiset korjaukset	75	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	50	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	169	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	5	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	366	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	7	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukoista 12–14 nähdään, että elinkaarikustannukset järjestelmille ovat 3 % korkokannalla 608 000 euroa, 5 % korkokannalla 452 000 euroa ja 7 % korkokannalla 273 000 euroa. Investointikustannuksen 192 000 euroa osuus koko elinkaarikustannuksista on 32 % korkokannalla 3 %, 42 % korkokannalla 5 % ja 52 % korkokannalla 7 %. Liuoslauhdutteen järjestelmän elinkaarikustannuksiin verrattuna järvivesilauhdutteen järjestelmän elinkaarikustannuksissa painottuvat suhteessa enemmän myös järjestelmän uusimisen kustannukset.

7.1.3 Kaukojäähdytys

Taulukoissa 15–17 on esitetty kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset eri korkokannoilla.

Taulukko 15. Kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset 3 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	120	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	120	
B1 käyttö		Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B2 kunnossapito		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		
B5 laajamittaiset korjaukset	30	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	186	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	216	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	4	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	340	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	3	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukko 16. Kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset 5 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	120	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	120	
B1 käyttö		Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B2 kunnossapito		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		
B5 laajamittaiset korjaukset	18	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	133	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	151	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	2	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	273	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	5	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

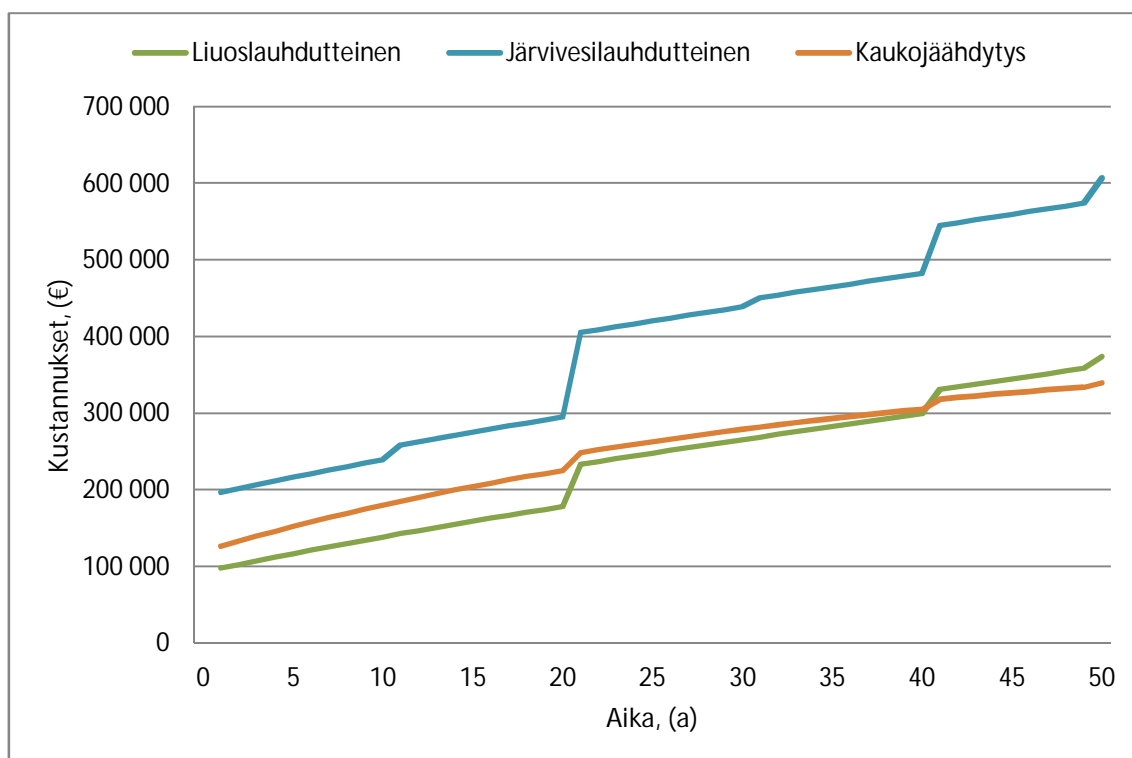
Taulukko 17. Kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset 7 % korkokannalla.

Elinkaaren vaihe	Elinkaarikustannus [k€]	Lisätietoa
A0 ennen rakentamista		
A1-A5 ennen käyttövaihetta	120	Laskettu oletuksella
A ennen käyttövaihetta	120	
B1 käyttö		Laskettu toteutuneiden kustannusten perusteella
B2 kunnossapito		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B3 korjaus		Huomioitu kohdassa kunnossapito
B4 osien vaihto		
B5 laajamittaiset korjaukset	11	Laskettu oletuksella
B6 energian käyttö	102	Laskettu oletuksella
B7 Veden käyttö		
B käyttövaihe yhteensä	113	
C1-C4 purkuvaihe yhteensä	1	Laskettu oletuksella
A-C järjestelmän elinkaari yhteensä	234	
D elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset		
Käytetty diskonttauskorko	7	
Arvonlisävero sisältyy tuloksiin	ei	

Taulukoista 15–17 nähdään, että elinkaarikustannukset järjestelmille ovat 3 % korkokannalla 340 000 euroa, 5 % korkokannalla 273 000 euroa ja 7 % korkokannalla 234 000 euroa. Kaukojäähdytykselle investointikustannus muodostaa 35 % elinkaarikustannuksista korkokannalla 3 %, 44 % korkokannalla 5 % ja 51 % korkokannalla 7 %. Liuoslauhdutteiseen ja järvivesilauhdutteeseen järjestelmään verrattuna kaukojäähdytyksen elinkaarikustannuksissa korostuu energian käytön kustannukset. Elinkaarikustannukset koostuvat merkittävältä osin investoinnin ja energiankäytön kustannuksista, kun taas järjestelmän uusimisen ja purun kustannukset ovat yhteensä vain muutaman prosentin luokkaa.

7.2 Jäähdytysjärjestelmien elinkaarikustannusten vertailu

Kuvissa 14–16 on esitetty elinkaarikustannusten kertyminen 50 vuoden ajalta jäähdytysjärjestelmille eri korkokannoilla.

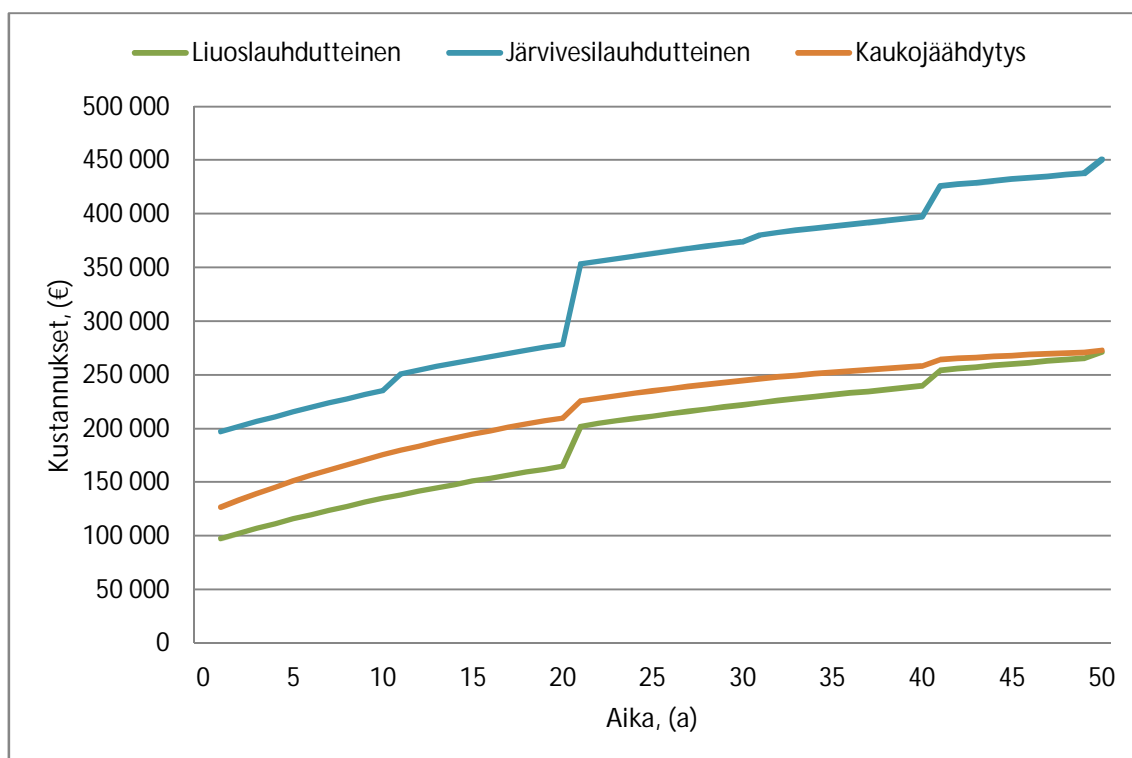


Kuva 14. Elinkaarikustannusten kertyminen jäähdytysjärjestelmille 3 % korkokannalla.

Kuvassa 14 käyrät alkavat ensimmäisestä vuodesta, jonka kohdalla kustannukset koostuvat investoinnista ja ensimmäisen vuoden energia- ja huoltokustannuksista. Toisesta vuodesta alkaen kustannusten tasainen kasvu johtuu energia- ja huoltokustannuksista. Kuvassa 14 näkyy 20 ja 40 vuoden kohdalla äkillinen muutos kustannuksissa, mikä johtuu järjestelmien uusimisesta. Järvivesijärjestelmän osalta pienemmät muutokset ovat nähtävissä myös vuosien 10 ja 30 kohdalla, jolloin järviveden kanssa kosketuksissa olevat osat on arvioitu uusittavan. Kaikkien järjestelmien osalta kustannuksissa on nousu myös 50 vuoden kohdalla johtuen järjestelmän purkamisesta.

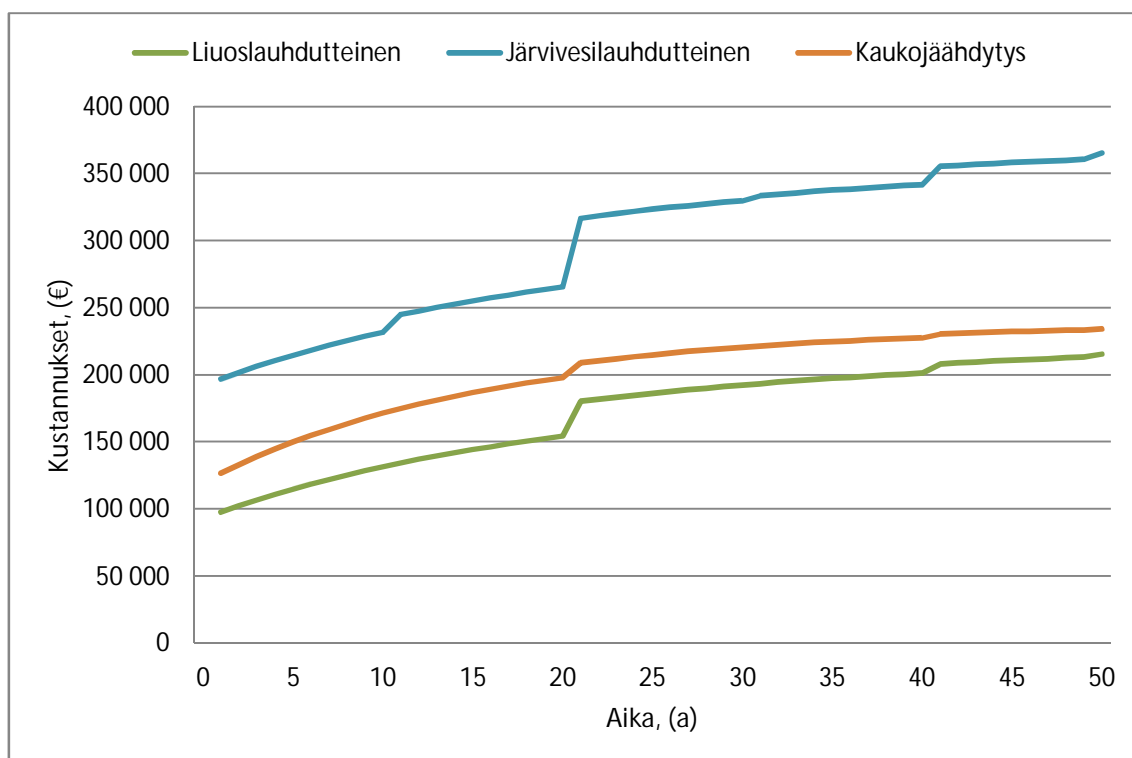
Kuvasta 14 nähdään, että korkokannalla 3 % kaukojäähdytys on elinkaarikustannuksiltaan edullisin, liuoslauhdutteinen järjestelmä hieman kalliimpi ja järvivesijärjestelmä lähes tuplasti kalliimpi. Kuvasta 14 nähdään myös, että kaukojäähdytyksen takaisinmaksuaika suhteessa liuoslauhdutteiseen järjestelmään on noin 40 vuotta.

Vaikka 3 % korkokannalla kaukojäähdytys on elinkaarikustannuksiltaan edullisin vaihtoehto, liuoslauhdutteisen järjestelmän valintaa puoltaa, että 40 vuoden takaisinmaksuaika on merkittävästi pidempi kuin, mitä tavallisesti pidetään hyväksyttävänä, ja että ero liuoslauhdutteisen järjestelmän ja kaukojäähdytyksen elinkaarikustannuksissa on suhteellisen pieni eli noin 10 %.



Kuva 15. Elinkaarikustannusten kertyminen jäähdytysjärjestelmille 5 % korkokannalla.

Kuvasta 15 nähdään, että korkokannalla 5 % kustannuksia kertyy hyvin samaan tapaan kuin korkokannalla 3 %, mutta elinkaarikustannukset jäävät pienemmiksi. Vaikka kaukojäähdytyksen käyrä ei leikkaa liuoslauhdutteisen jäähdytyksen käyrää, liuoslauhdutteisen järjestelmän ja kaukojäähdytyksen elinkaarikustannukset ovat lähes yhtä suuret. Kaukojäähdytyksen takaisinmaksuaika suhteessa liuoslauhdutteiseen järjestelmään on 50 vuotta, mikä puoltaa liuoslauhdutteisen järjestelmän valintaa.



Kuva 16. Elinkaarikustannusten kertyminen jäähdytysjärjestelmille 7 % korkokannalla.

Kuvasta 16 nähdään, että korkokannalla 7 % liuoslauhdutteinen järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin, kaukojäähdytys hieman kalliimpi ja järvivesilauhdutteinen järjestelmä selvästi kallein.

Luvussa 5.3.1 on kerrottu, että vuotuinen sähköenergian hinnan nousu i_s on 4,60 %. Korkokannan ollessa 3 % sähköenergian hinnan nousu on suurempi kuin korkokanta, jolloin vuotuinen sähköenergian hinnan nykyarvo kasvaa vuosi vuodelta. Korkokannat 5 ja 7 % ovat puolestaan suuremmat kuin sähköenergian hinnan nousu, joten vuotuinen sähköenergian hinnan nykyarvo laskee vuosi vuodelta. Korkokannan ollessa 3 % sähköenergian hinnan merkitys siis kasvaa tarkastelujakson myötä.

Kuvista 14–16 nähdään, että järvivesilauhdutteinen järjestelmä on kaikilla korkokannoilla merkittävästi kalliimpi kuin muut kaksi järjestelmää. Korkokannoilla 3 % ja 5 % kaukojäähdytys on elinkaarikustannuksiltaan kilpailukykyinen vaihtoehto liuoslauhdutteiselle järjestelmälle, mutta käyrien rakenteita ja leikkauspisteitä eli takaisinmaksuaikojen tarkasteltaessa liuoslauhdutteinen järjestelmä on edullisin vaihtoehto. Korkokannalla 7 % liuoslauhdutteinen järjestelmä on selvästi edullisin vaihtoehto.

7.3 Tulosten tarkastelu

Laskennan perusteella elinkaarikustannuksiltaan edullisin jäähdytysmuoto on korkokannasta riippuen joko kaukojäähdytys tai liuoslauhdutteinen jäähdytysjärjestelmä. Tulosten yleistämisessä koskemaan muita rakennuksia on otettava huomioon kaksi merkit-

tävää tekijää, jotka ovat sähköliittymän ja järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän investointikustannukset. Lisäksi on huomioitava, että sähkön siirron ja kaukojäähdytyksen hinnat pätevät Tampereen Sähköverkko Oy:n verkkoalueella ja Tampereen Kaukolämpö Oy:n alueella, eikä niitä voi sellaisenaan yleistää koko maahan.

Yleensä jokaiselle rakennukselle on ostettava oma sähköliittymä, jonka koko määräytyy rakennuksen suurimman tehontarpeen mukaan. Kun investoidaan liuos- tai järvivesilauhdutteen järjestelmään, on järjestelmän sähkötehtäjä niin merkittävä, että on tutkittava vaikuttaako se sähköliittymän, sähköpääkeskuksen ja muiden laitteiden mitoittamiseen. Normaalisti käytännöstä poiketen Toukolalle ei investoida omaa sähköliittymää, koska Koukkuniemen alueella on keskijänniteliittymä, jonka takana kaikki alueen rakennukset ovat. Tästä johtuen Toukolan kohdalla ei ole laskennassa otettu huomioon liuos- tai järvivesilauhdutteen järjestelmän vaikutusta sähköliittymän koon eikä siitä aiheutuvia kustannuksia.

Järvivesilauhdutteen järjestelmän osalta on otettu huomioon Jukola-Impivaaran järjestelmän integroitumisesta aiheutuvat kustannukset. Jotta voitaisiin määrittää kokonaan uuden järvivesilauhdutteen järjestelmän rakentamisen kustannukset, tulisi laskennassa ottaa huomioon myös niiden järjestelmän osien kustannukset, jotka sijaitsevat Jukola-Impivaaran ulkopuolella eli järvenpohjassa olevat putket, imukaivo sekä pumppukaivo ja pumppu. Jo ilman näiden osien kustannuksia järvivesijärjestelmä oli elinkaarikustannuksiltaan kallein järjestelmä ja näiden osien kustannusten huomioon ottaminen entisestään nostaa järvivesilauhdutteen järjestelmän elinkaarikustannuksia.

Työssä on laskettu elinkaarikustannukset yhdelle järjestelmän koolle ja yhdelle jähdytysenergian kulutukselle. Työssä ei ole arvioitu sitä, miten jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannukset muuttuvat jähdytysjärjestelmän koon muuttuessa eikä toisaalta sitä, miten energian kulutuksen muutokset vaikuttavat elinkaarikustannuksiin. Jatkossa voitaisiin tutkia, millainen vaikutus jähdytysjärjestelmän koolla, energian kulutuksen määrällä ja energian kulutusrakenteella on jähdytysjärjestelmien elinkaarikustannuksiin. Jatkotutkimuksilla voitaisiin selvittää, miten järjestelmän koko vaikuttaa investoinnin, järjestelmän kunnossapidon, uusimisen ja puron kustannuksiin ja ovatko muutokset niin merkittäviä, että ne vaikuttavat siihen, mikä järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin. Toisaalta voitaisiin tutkia, miten energian kulutus ja energian kulutus rakenne vaikuttavat järjestelmien elinkaarikustannuksiin. Kaukojäähdytykselle merkittävä osa elinkaarikustannuksista koostuu energian kulutuksen kustannuksista. Energian kulutuksen kustannuksissa on mukana kuukausimaksut, jotka eivät ole riippuvaisia energian kulutuksen määrästä. Kaukojäähdytykselle kuukausimaksujen suhteellinen osuus energian kustannuksissa pienenee, kun järjestelmän energian kulutus kasvaa. Energian kulutus rakenteen osalta voisi tutkia, miten elinkaarikustannuksiin vaikuttaa se ajoittuuko kulutus pääasiassa kesäkuukausille vai tasaisesti ympäri vuoden. Talvikuukausille ajoittuvaa kulutusta voidaan liuoslauhdutteisella ja järvivesilauhdutteisella järjestelmällä

tuottaa vapaajäähdytyksellä, jolloin energian tuottamisen kustannukset ovat merkittävästi pienemmät.

7.4 Virhetarkastelu

Laskennassa käytetyt hinnat on saatu alan yrityksiltä, jotta saataisiin mahdollisimman realistinen kuva tuotteiden ja palveluiden tämän hetkisistä hinnoista. Diplomityössä ei kuitenkaan ole vertailtu kilpailevien yritysten hintoja keskenään, vaan jokaiselle tuotteelle ja palvelulle on selvitetty hinta yhdeltä yritykseltä. Tästä johtuen on mahdollista, että osa tuotteista ja palveluista on saatavilla edullisemmin kilpailevilta yrityksiltä. Tämä aiheuttaa epävarmuutta investointikustannusten ja järjestelmän uusimisen kustannusten osalta. Kaukojäähdytyksen investointikustannus on määritetty tilanteelle, jossa Koukkuniemen alueella kaukojäähdytysverkostoon liittyy muitakin rakennuksia siten, että verkoston rakentamisen kustannukset jakautuvat useille rakennuksille. Kaukojäähdytyksen investointikustannus ei päde tilanteessa, jossa Toukola on ainoa kaukojäähdytykseen liittyvä rakennus.

Työssä liuoslauhdutteen ja järvivesilauhdutteen järjestelmän on osalta käytetty Tietotalon toteutuneita huoltokustannuksia, jotta on saatu mahdollisimman tarkka arvio huoltokustannuksista. Tietotalon jäähdytysjärjestelmä on merkittävästi suurempi kuin Toukolan järjestelmä, josta johtuen kustannukset on laskettu yksikössä euroa/kW/vuosi. Työssä on tehty yksinkertaistava oletus, että huoltokustannukset kasvavat samassa suhteessa järjestelmän koon kanssa. Toisaalta kaukojäähdytyksen osalta huoltokustannuksia ei ole huomioitu ollenkaan, koska niiden on oletettu olevan niin pienet.

Energia kustannuksien osalta saatavilla ei ole ollut varmaa tietoa siitä, kuinka suuri osa jäähdytysenergiasta on katettavissa vapaajäähdytyksellä. Tästä johtuen diplomityössä on jouduttu tekemään oletuksia vapaajäähdytyksen hyödynnettävyydestä liuos- ja järvilauhdutteisissa järjestelmissä.

Järjestelmän purun kustannusten arvioinnissa on suositeltavaa käyttää toteutuneiden kohteiden kustannuksia. Koska näitä kustannuksia ei ollut saatavilla, työssä on käytetty investointikustannuksien urakointikustannuksia lähtökohtana purkukustannuksille.

8. YHTEENVETO

Tässä diplomityössä on tutkittu liuoslauhdutteen jähdytysjärjestelmän, järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmän ja kaukojäähdytyksen elinkaarikustannuksia kohderakennukselle Toukola. Työn tavoitteena oli selvittää elinkaarikustannuksiltaan edullisin jähdytysjärjestelmän toteutustapa. Toukolaan tulee sijoittumaan tehostettua palveluasumista 120 asukkaalle sekä palvelutiloja koko Koukkuniemen alueen asukkaille. Toukola on määrä rakentaa vuosina 2016–2017. Jähdytysjärjestelmät on rajattu siten, että työssä on tutkittu jähdytyksen tuottamisen kustannuksia eli työssä ei ole otettu huomioon jähdytyksen jakelun kustannuksia. Jakelusta aiheutuneiden kustannusten huomioon otto nostaisi elinkaarikustannusten kokonaiskustannuksia eli laskennasta saadut tulokset eivät kuvasta koko jähdytysjärjestelmän elinkaarikustannuksia.

Toukolan jähdytystehon ja -energian tarpeet on määritetty dynaamista laskentaa käyttäen ohjelmalla IDA ICE. Laskennan pohjalla on käytetty arkkitehdilta saatua rakennuksen IFC-mallia sekä rakennusmääräyskokoelman osien D2 (2012), D3 (2012) ja D5 (2012) ohjeistusta ja laskenta-arvoja. Simuloinnilla määritettiin rakennuksesta kymmenen tilaa, joihin tarvittiin jähdytetyn tuloilman lisäksi huonekohtainen jähdytyslaite. Toukolan jähdytystehon tarpeeksi saatiin simuloinnin tuloksena 203 kW ja jähdytysenergian tarpeeksi 36 900 kWh/vuodessa.

Diplomityössä on esitetty kolme olemassa olevaa Tampereen kaupungin kohdetta eli Jukola-Impivaara, Tietotalo ja Sähkötalok, joissa on käytössä järvivesilauhdutteen jähdytysjärjestelmä, liuoslauhdutteen jähdytysjärjestelmä ja kaukojäähdytys. Näiden rakennusten jähdytysjärjestelmien tietoja on hyödynnetty Toukolan jähdytysjärjestelmien suunnittelussa ja niiden elinkaarikustannusten arvioinnissa.

Elinkaarikustannusten laskennassa on seurattu GBC Finland - Rakennusten elinkaari-mittarit 2013 -raportin ohjeistusta. Laskennassa on käytetty nykyarvomenetelmää eli tulevien vuosien kustannukset on diskontattu nykyhetkeen. Kustannusten on oletettu pysyvän nykyisellä tasolla, lukuun ottamatta energian hintaa, jolle on käytetty GBC Finlandin raportissa määritettyä vuotuista energian hinnan nousua 4,6 %. Laskennan tarkastelujaksona on käytetty rakennuksen oletettua käyttöikää 50 vuotta. Elinkaarikustannuksissa on otettu huomioon investointien, energiankäytön, huollon, järjestelmien uusimisen ja puron kustannukset. Järjestelmät on oletettu uusittavan 20 vuoden välein. Poikkeuksena ovat järvivesilauhdutteen järjestelmän järviveden epäpuhtauksien kanssa kosketuksessa olevat osat, jotka on arvioitu uusittavan kymmenen vuoden välein. Hintojen kehityksen ennustamisen vaikeudesta johtuen laskennassa on käytetty kolmea

eri korkokantaa 3, 5 ja 7 %, jotta voidaan tarkastella korkokannan vaikutusta siihen, mikä järjestelmästä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin.

Tutkituista järjestelmistä liuoslauhdutteinen ja järvivesilauhdutteinen järjestelmä on varustettu vapaajäähdytyksellä. Kullekin järjestelmälle on määritetty järjestelmän tärkeimmät osat ja selvitetty laitevalmistajilta niiden hinnat. Lisäksi laitevalmistajien tietojen pohjalta on arvioitu järjestelmien osien energiankulutukset. Lisäksi laskennassa on otettu huomioon energiankulutuksesta aiheutuvat kustannukset, järjestelmien huollon tarve ja sen kustannukset sekä järjestelmien uusimisen ja purun kustannukset.

Laskennan tuloksena on saatu eri korkokannoilla liuoslauhdutteiselle jäähdytysjärjestelmälle elinkaarikustannuksiksi 375 000 euroa (3 %), 272 000 euroa (5 %) ja 215 000 euroa (7 %), järvivesilauhdutteiselle järjestelmälle 608 000 euroa (3 %), 452 000 euroa (5 %) ja 366 000 euroa (7 %) ja kaukojäähdytykselle 340 000 euroa (3 %), 273 000 euroa (5 %) ja 234 000 euroa (7 %). Laskennan perusteella korkokannalla 3 % kaukojäähdytys on elinkaarikustannuksiltaan edullisin, mutta sen takaisinmaksuaika suhteessa liuoslauhdutteiseen järjestelmään on noin 40 vuotta. Korkokannalla 5 % kaukojäähdytys ja liuoslauhdutteinen järjestelmä ovat elinkaarikustannuksiltaan lähes yhtä suuret, mutta kaukojäähdytyksen takaisinmaksuaika on 50 vuotta, mikä puoltaa liuoslauhdutteisen järjestelmän valintaa. Korkokannalla 7 % liuoslauhdutteinen järjestelmä on elinkaarikustannuksiltaan edullisin. Järvivesilauhdutteinen järjestelmä on kaikilla korkokannoilla elinkaarikustannuksiltaan selvästi kallein. Laskennasta saatujen tulosten perusteella elinkaarikustannuksiltaan edullisin jäähdytysjärjestelmä Toukolaan on liuoslauhdutteinen järjestelmä.

LÄHTEET

- [1] Tampereen Tilakeskus liikelaitos, Kiinteistökehitys, Koukkuniemen Toukola – Hankesuunnitelma, Tampere, 2015. Saatavissa (viitattu 27.3.2015): http://www.tampere.fi/material/attachments/t/gzq7NBqxY/toukolan_hankesuunnitelma.pdf
- [2] S. Pulakka, I. Heimonen, J. Junnonen, M. Vuolle, Talotekniikan elinkaarikustannukset, VTT tiedotteita 2409, Espoo 2007, 58 s. + liitt. 3 s. Saatavissa (viitattu 2.2.2015): <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2409.pdf>
- [3] S. Paiho, T. Ahlqvist, E. Lehtinen, J. Laarni, K. Sipilä, P. Ala-Siuru, T. Parkkila, Talotekniikan kehityslinjat - Teknologiat ja markkinat, VTT Tiedotteita 2379, Espoo 2007, 55 s. + liitt. 60 s. Saatavissa (viitattu 2.2.2015): <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2007/T2379.pdf>
- [4] Y. Haahtela, J. Kiiras, Talorakennuksen kustannustieto 2013, Tammerprint Oy, Tampere, 2013, s. 343–348.
- [5] Koukkuniemen vanhainkoti, Tampereen kaupunki, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 27.3.2015): <http://www.tampere.fi/perhejasosiaalipalvelut/ikaihmiset/asuminen/koukkuniemi.html>
- [6] Sisäilmastoluokitus 2008, Rakennustieto Oy, LVI 05-10440, 2008, 22 s.
- [7] D2 Suomen rakentamismääräyskokoelma – Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, Ympäristöministeriö, 2012, 23 s. + liitt. 9 s.
- [8] D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma – Rakennusten energiatehokkuus, Ympäristöministeriö, 2012, 27 s. + liitt. 7 s.
- [9] EQUA simulation AB, IDA Indoor Climate and Energy 4.6.2.
- [10] D3 laskentaopas - Kesäajan huonelämpötilan vaatimuksenmukaisuuden osoittaminen, Ympäristöministeriö, 2012, 25 s. + liitt. 2 s.
- [11] D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma – Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Ympäristöministeriö, 2012, 68 s. + liitt. 5 s.
- [12] Rakennusten energianlaskennan testivuodet, Ympäristöministeriö, 2011, 1 s. Saatavissa (viitattu 23.6.2015): <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8D997677-9ECB-49DC-9D73-9DD93C1C875E%7D/31275>

- [13] DEFO 190 LC Huuhtelu- ja desinfiointikone, Franke Medical Oy, esite, 7 s. Saatavissa (viitattu 12.8.2015): http://medical-washroomsystems-fi.franke.com/userfiles/file/D190LC_esite.pdf
- [14] Tampereen Tilakeskus liikelaitos, Kiinteistökehitys, Koukkuniemen Jukola ja Impivaara – Toteutussuunnitelma, Tampere, 2012, Saatavissa (viitattu 7.4.2015): http://www.tampere.fi/material/attachments/k/6Co6KSi77/Koukku_toteutussuunnitelma.pdf
- [15] LVI-piirustukset, Jukola-Impivaara, AIRIX Talotekniikka, 28.10.2011.
- [16] Leo Koski, työnjohtaja, Tampereen Tilakeskus Liikelaitos, Tampere. Haastattelu, 13.4.2015.
- [17] Kiinteistön tekniset käyttöiät ja kunnossapitajaksot, Rakennustieto Oy, LVI 01–10424, 2008, 33 s.
- [18] LVI-piirustukset, Tietotalo, AIRIX Talotekniikka, 15.4.2004.
- [19] Juha-Matti Koivisto, Huurre Finland Oy, Tampere. Haastattelu 19.5.2015.
- [20] Frans Kovanen, Tietotalon huoltomies, Tampereen Tilakeskus Liikelaitos, Tampere. Haastattelu 19.5.2015.
- [21] Huurre Oy:n laskut kohteesta Tietotalo aikavälille 1.1.2013–30.4.2015, Huurre Oy, 21.5.2015.
- [22] LVI-piirustukset, Sähkötalo, Granlund Tampere Oy, 18.5.2012.
- [23] Jyrki Asunen, huoltomies, Coor Service Management, Tampere. Haastattelu 26.5.2015.
- [24] GBC Finland, Green Build Council Finland, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.2.2015): <http://figbc.fi/gbc-finland/>
- [25] Rakennusten elinkaarimittarit (2013), Green Building Council Finland, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 11.2.2015): http://figbc.fi/wp-content/uploads/2013/01/Rakennusten_elinkaarimittarit_2013.pdf
- [26] Aalto University Wiki: Investointilaskelmat, Aalto yliopisto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.2.2015): <https://wiki.aalto.fi/display/TU22/8.+Investointilaskelmat>
- [27] Sähkön verkkopalveluhinnasto, Tampereen sähkölaitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.8.2015): <https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/hinnastotjasopimuseh>

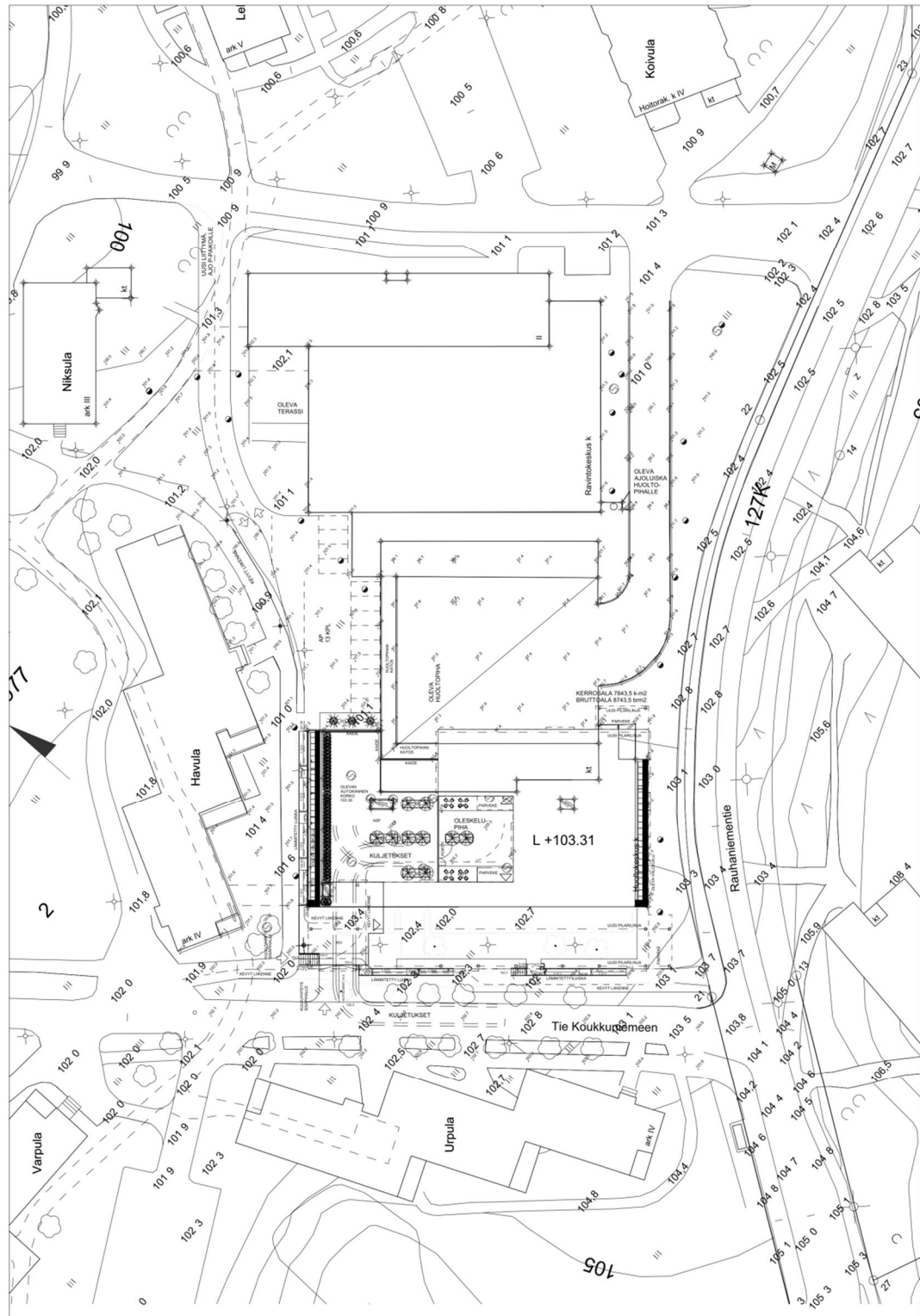
dot/PublishingImages/S%c3%a4hk%c3%b6n%20siirtotariffit%2001-01-2015.pdf

- [28] E. Sandberg (toim.), Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät – Ilmastointitekniikka osa 1, Tammerprint, Tampere 2014, 415 s.
- [29] Option-valintaohjelma, Chiller Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.10.2015): <http://www.chiller.fi/option>.
- [30] Jäähdytysjärjestelmien energialaskentaopas (2011), Rakentamismääräyskokoelman osan D5 (2012) liite, Ympäristöministeriö, 2011, 26 s.
- [31] Grundfos Product Center – Pikamitoitus, Grundfos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.8.2015): <http://product-selection.grundfos.com/front-page.html?pumpsystemid=39239819#/Pikamitoitus?qcid=31123443>
- [32] Jari Silvan, Chiller Oy. Sähköpostit 29.7.2015 ja 31.7.2015.
- [33] Oy Danfoss AB, Danfoss Heating Substation Dimensioning Program 3.30.
- [34] SAF 1500, Amiad Filtration Systems Ltd., verkkosivu. Saatavissa (viitattu 11.8.2015): <http://www.amiad.com/catalog-in.asp?type1=3&num=89&cat=13>
- [35] Juha Patakangas, Danfoss. Sähköposti 11.8.2015.
- [36] Janne Hakanen, Hyxo Oy. Puhelintiedustelu 11.8.2015.
- [37] Kaukojäähdytys, Energiateollisuus ry, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 30.7.2015): <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/kaukolampo-ja-kaukojaahdytys/kaukojaahdytys>
- [38] Kaukojäähdytys, Tampereen sähkölaitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.8.2015): <https://www.tampereensahkolaitos.fi/kaukolampojaahdytysjamaakaasu/kaukojaahdytys/Sivut/default.aspx>
- [39] Kaukojäähdytys 2014 graafeina, Energiateollisuus ry, verkkojulkaisu. Saatavissa (viitattu 25.2.2015): http://energia.fi/sites/default/files/dokumentit/tilastot-ja-julkaisut/kaukojaahdytys_2014.pptx
- [40] Kiinteistöjen kaukojäähdytys, Rakennustieto Oy, LVI 34–10462, 2010, 10 s.
- [41] Teemu Savolainen, HögforsGST. Sähköposti 3.8.2015.
- [42] Wilo-VeroTwin-DP-E 40/120–1,5/2, Wilo SE, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.8.2015):

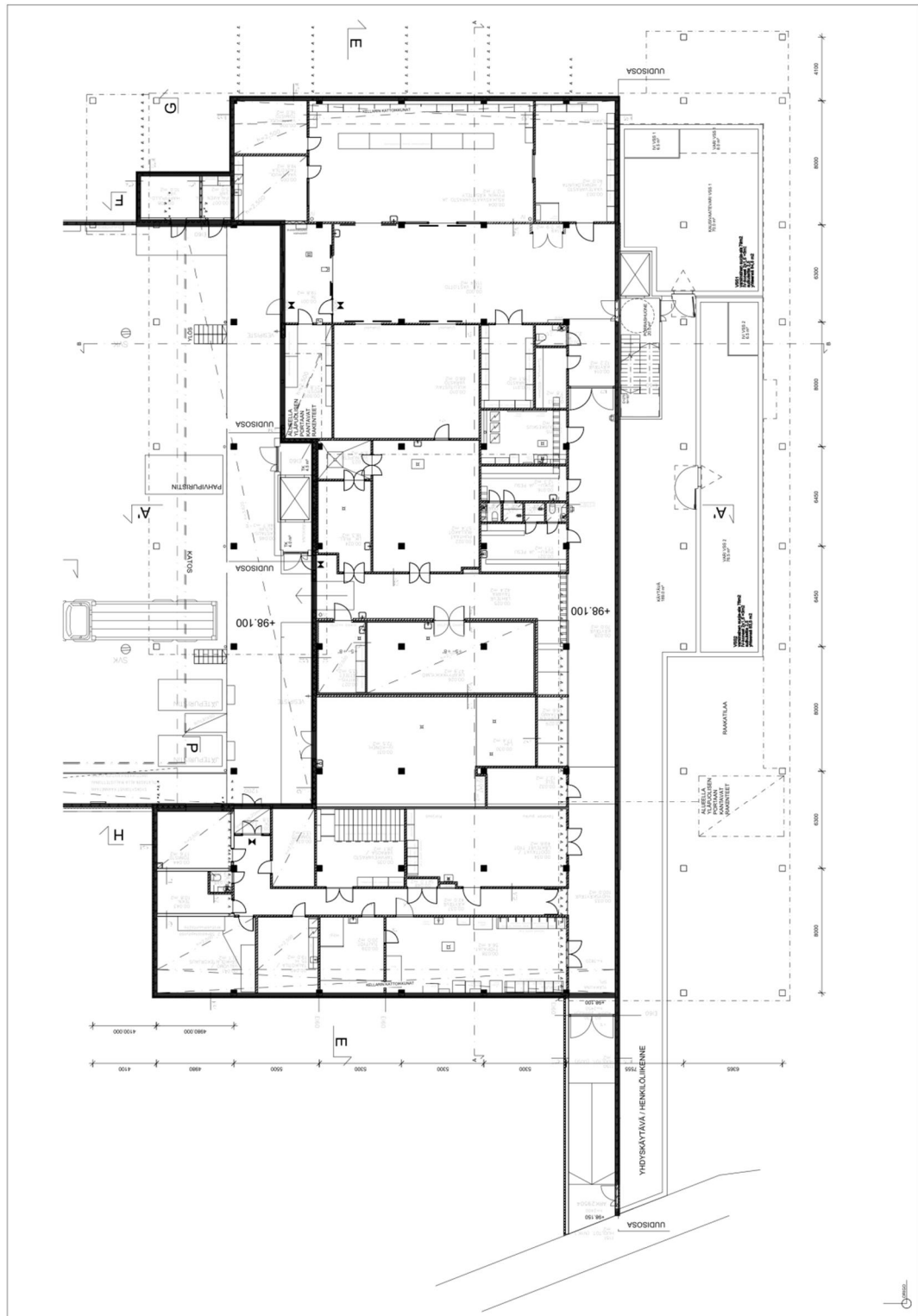
http://productfinder.wilo.com/en/AT/product/0000001d00014a600001003a/fc_product_datasheet#

- [43] Timo Pesonen, kehityspäällikkö, Tampereen Kaukolämpö Oy. Puhelintiedustelu 29.7.2015.
- [44] Kaukojäähdytyksen myyntihinnasto 1.6.2014 alkaen, Tampereen Kaukolämpö Oy.
- [45] Arkkitehtikuvat, Toukola, Sipark Oy, 1.6.2015.

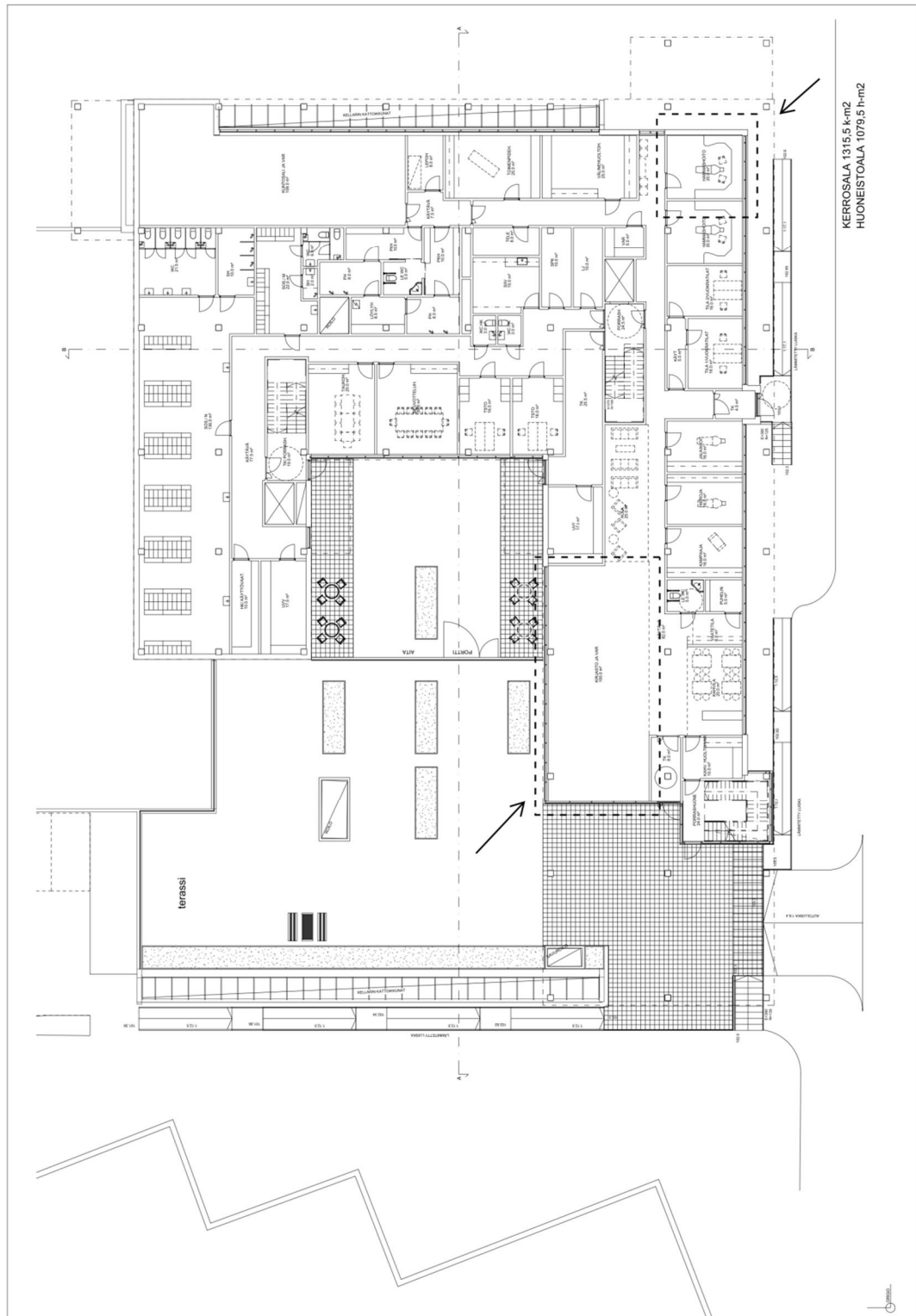
LIITE A: TOUKOLAN ASEMAPIIRUSTUS JA POHJAPIIRUSTUKSET [45]



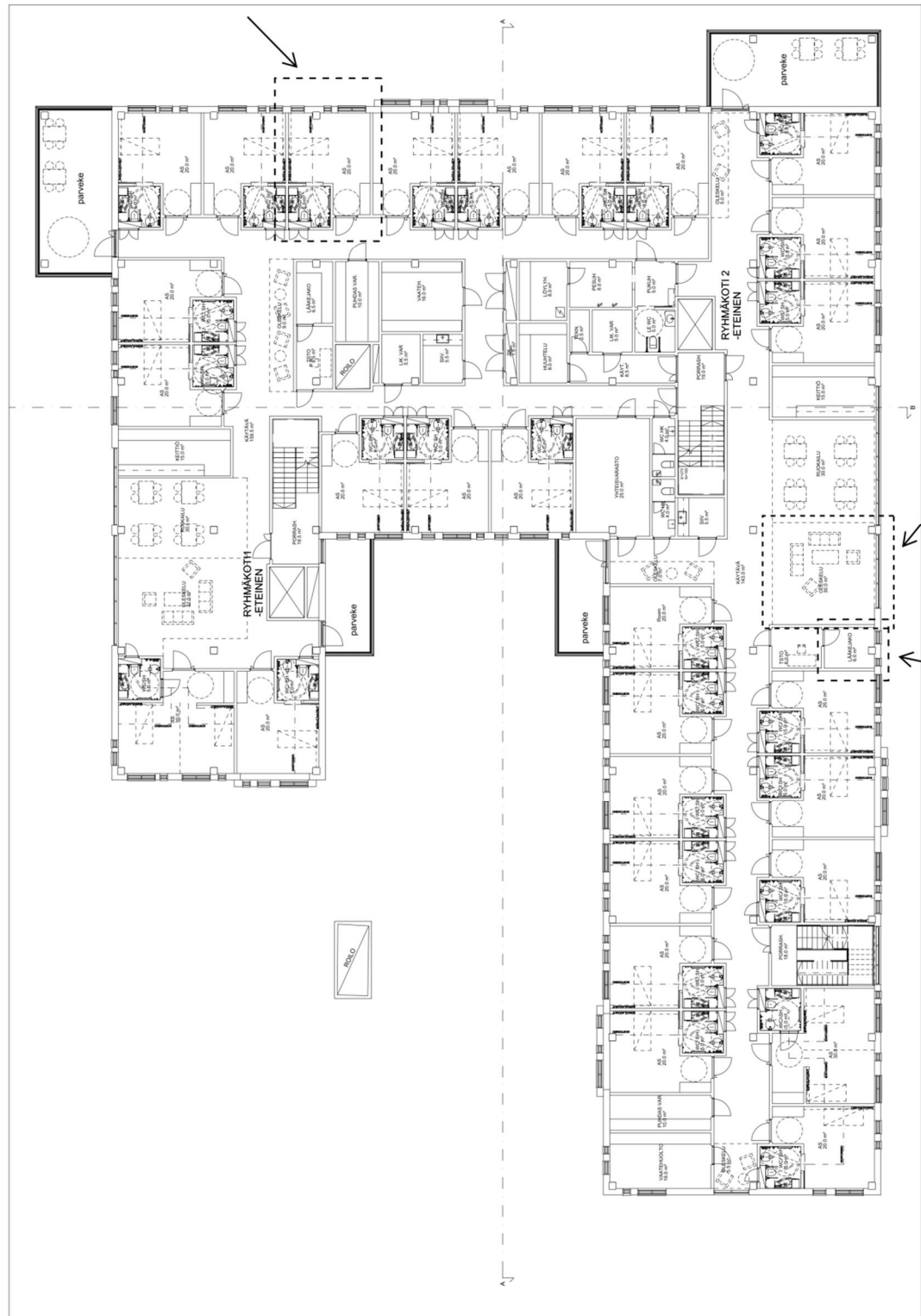
Kuva A.1. Koukkuniemen Toukola, asemakuva, 1/800, 1.6.2015, Sipark Oy.



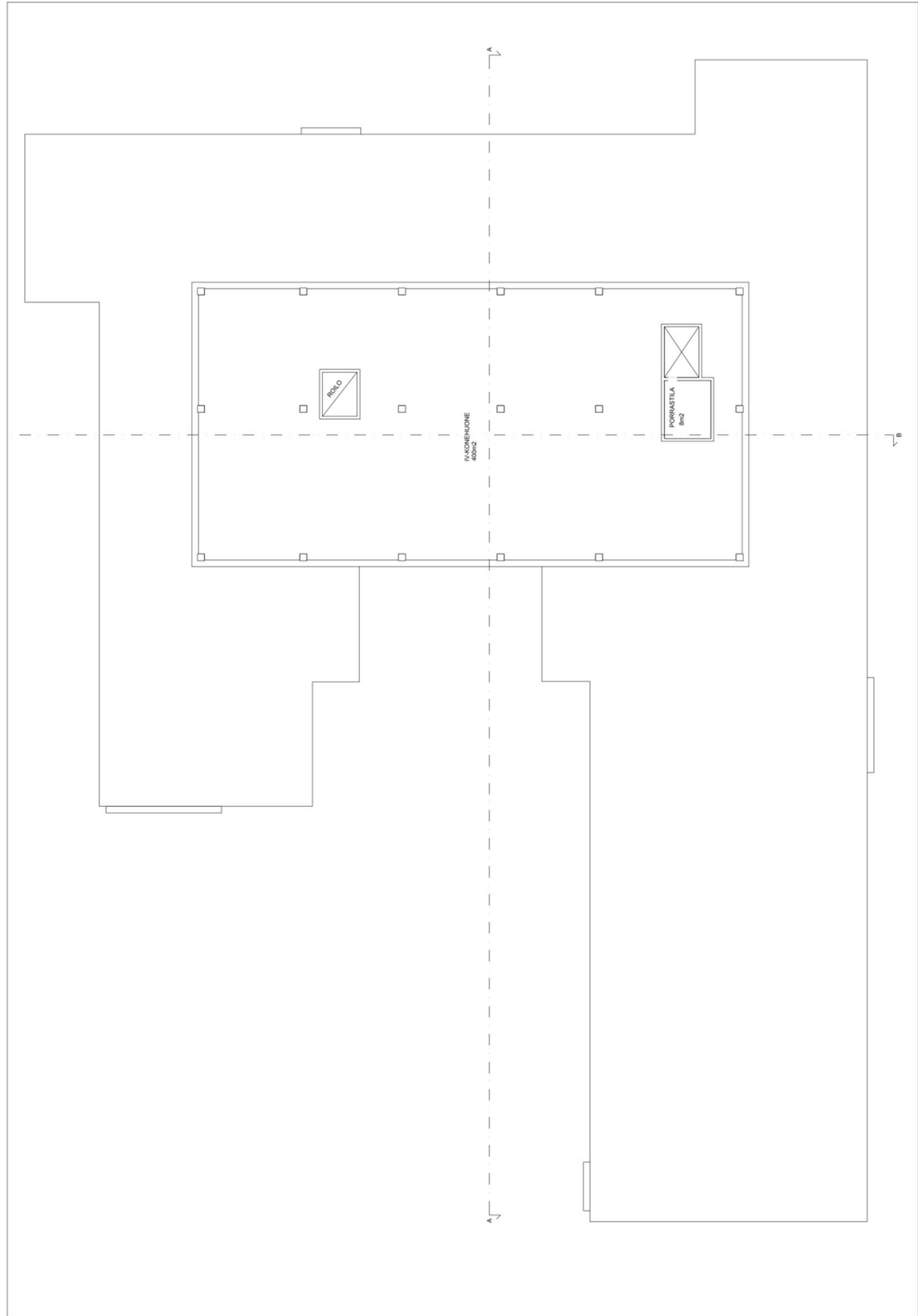
Kuva A.2. Koukkuniemen Toukola, kellarikerros, 1/300, 1.6.2015, Sipark Oy.



Kuva A.3. Koukkuniemen Toukola, 1. kerros, 1/300, 1.6.2015, Sipark Oy.

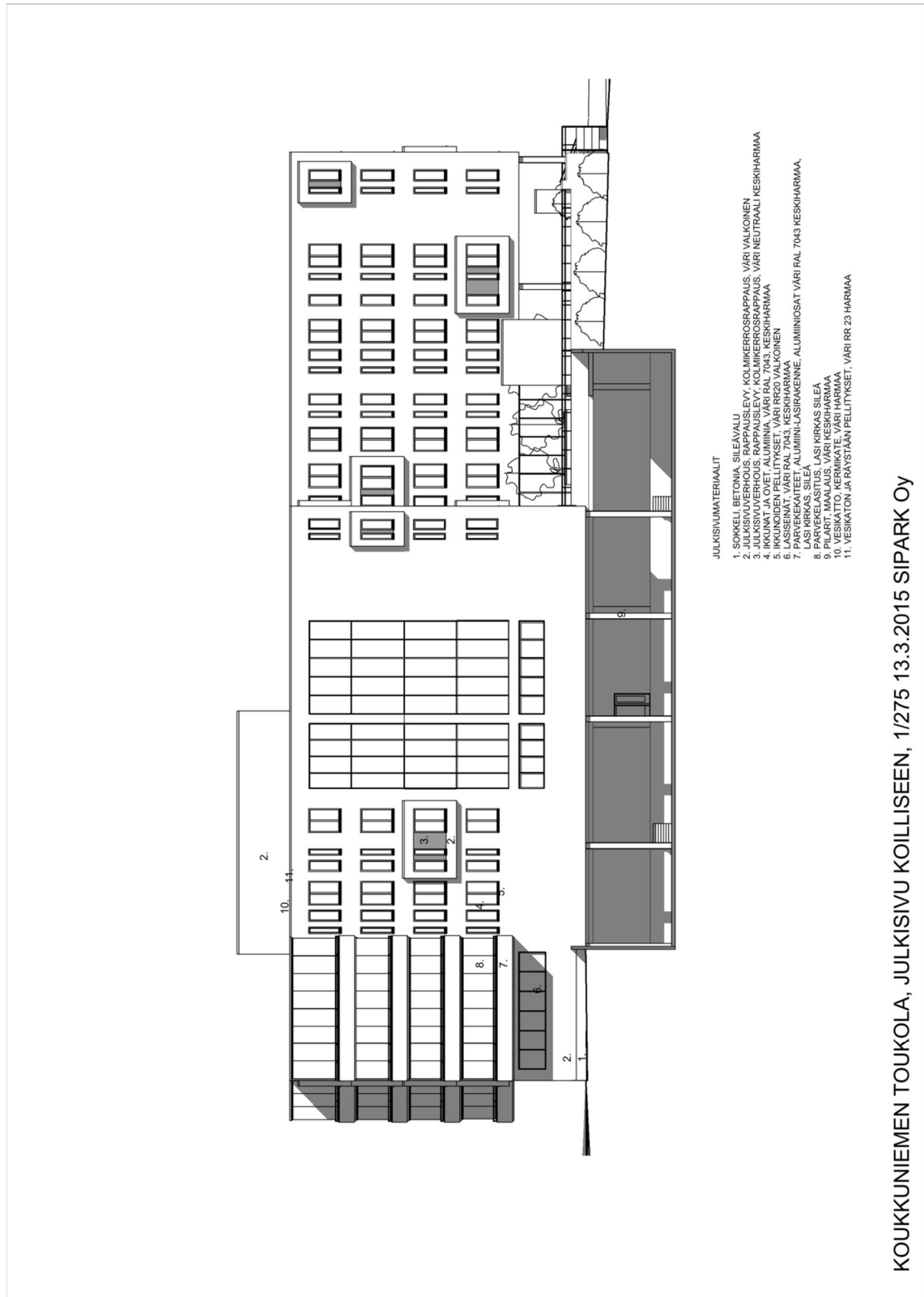


Kuva A.4. Koukkuniemen Toukola, 2.–5. kerros, 1/250, 1.6.2015, Sipark Oy.

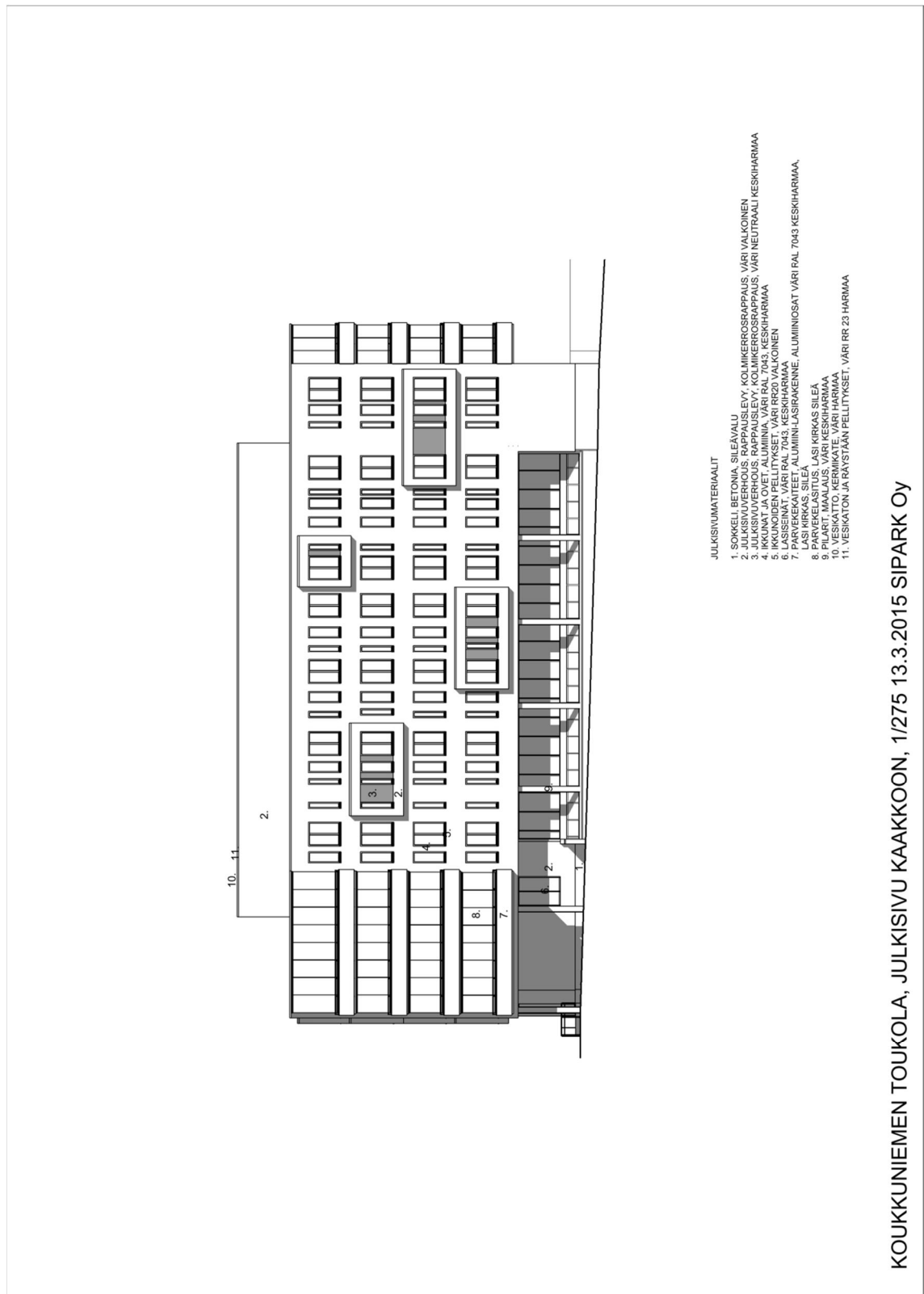


Kuva A.5. Koukkuniemen Toukola, 6. kerros, 1/250, 1.6.2015, Sipark Oy.

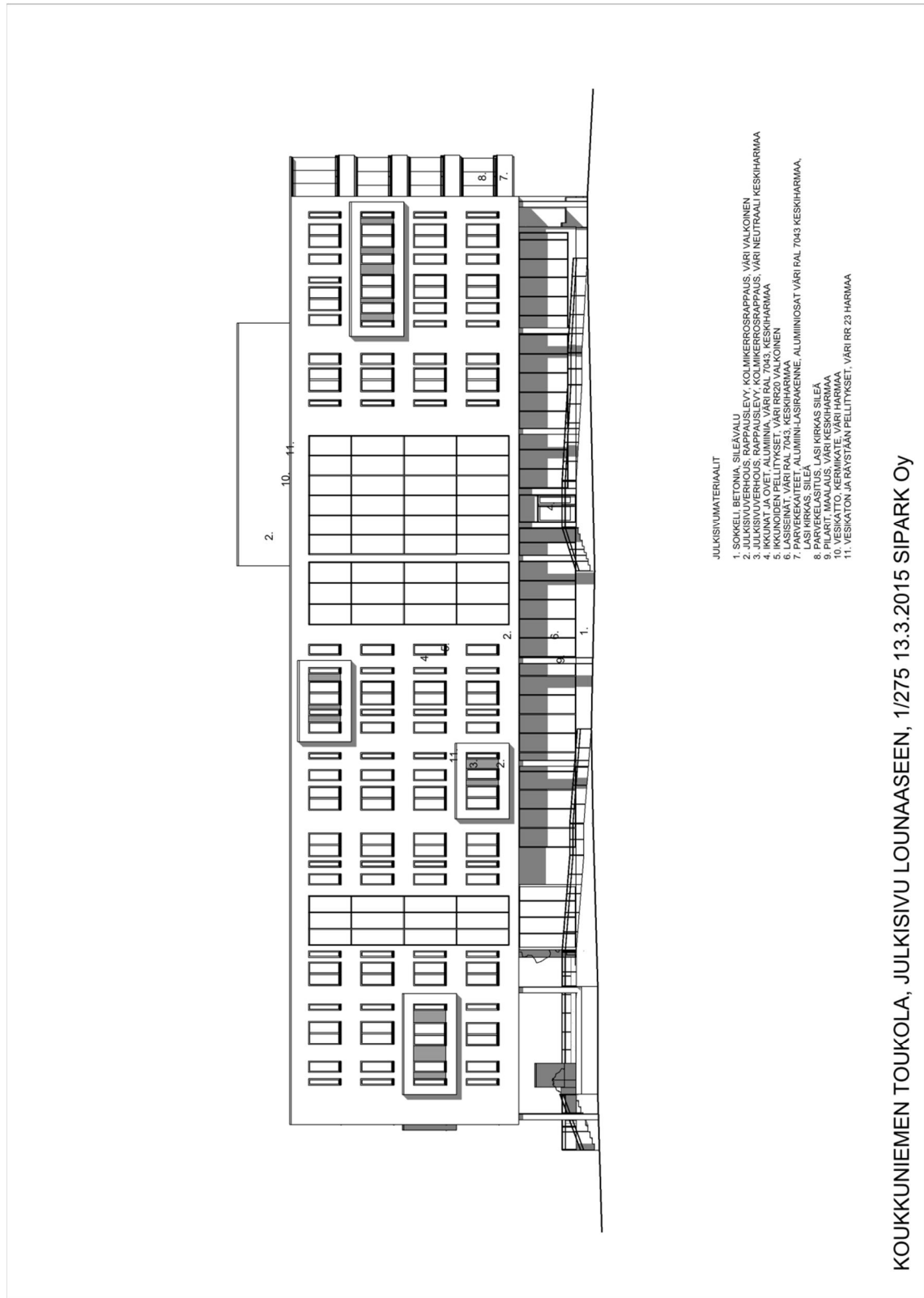
LIITE B: TOUKOLAN LEIKKAUKSET JA JULKISIVUT [1]



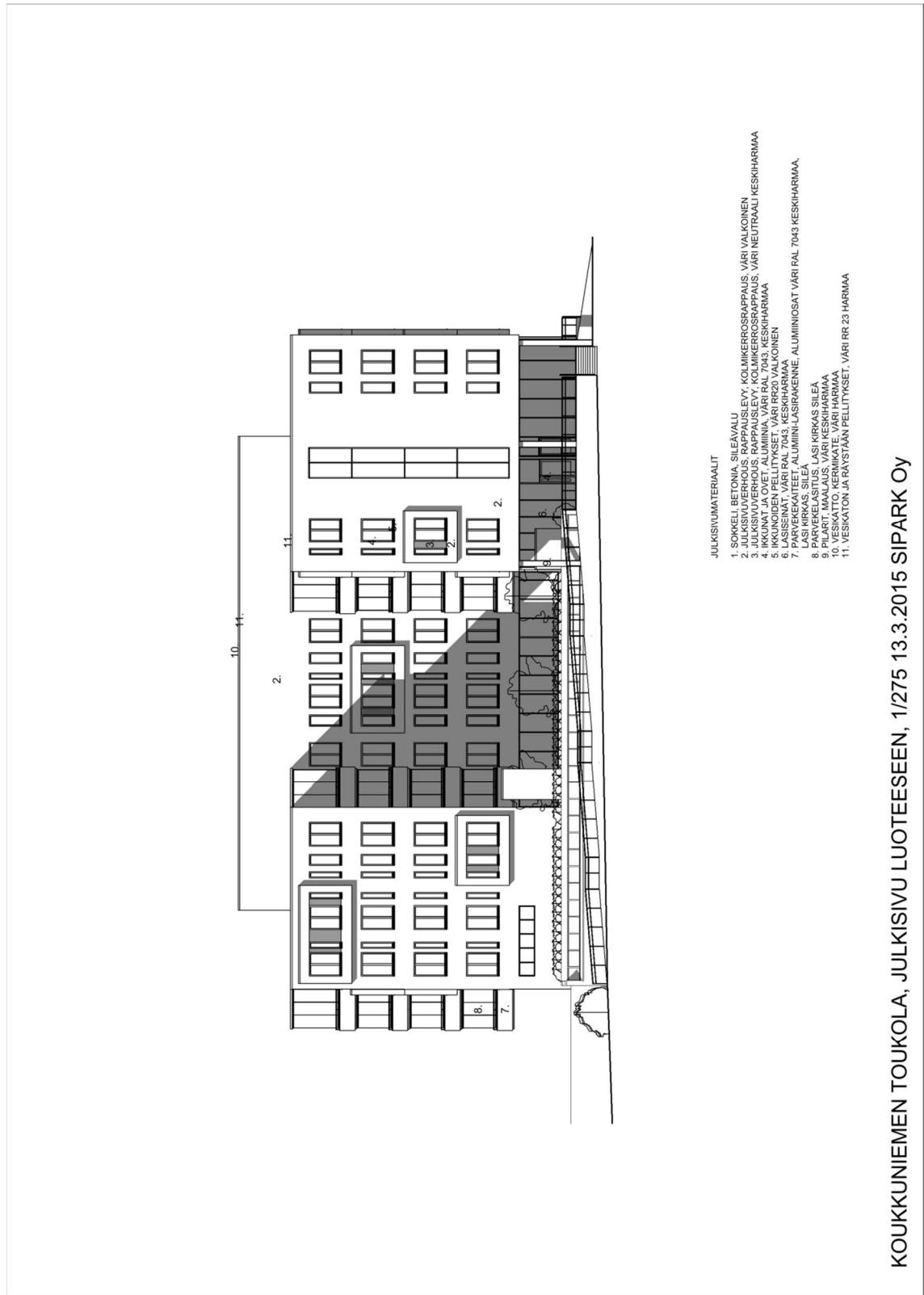
Kuva B.1. Koukkuniemen Toukola, julkisivu koilliseen.



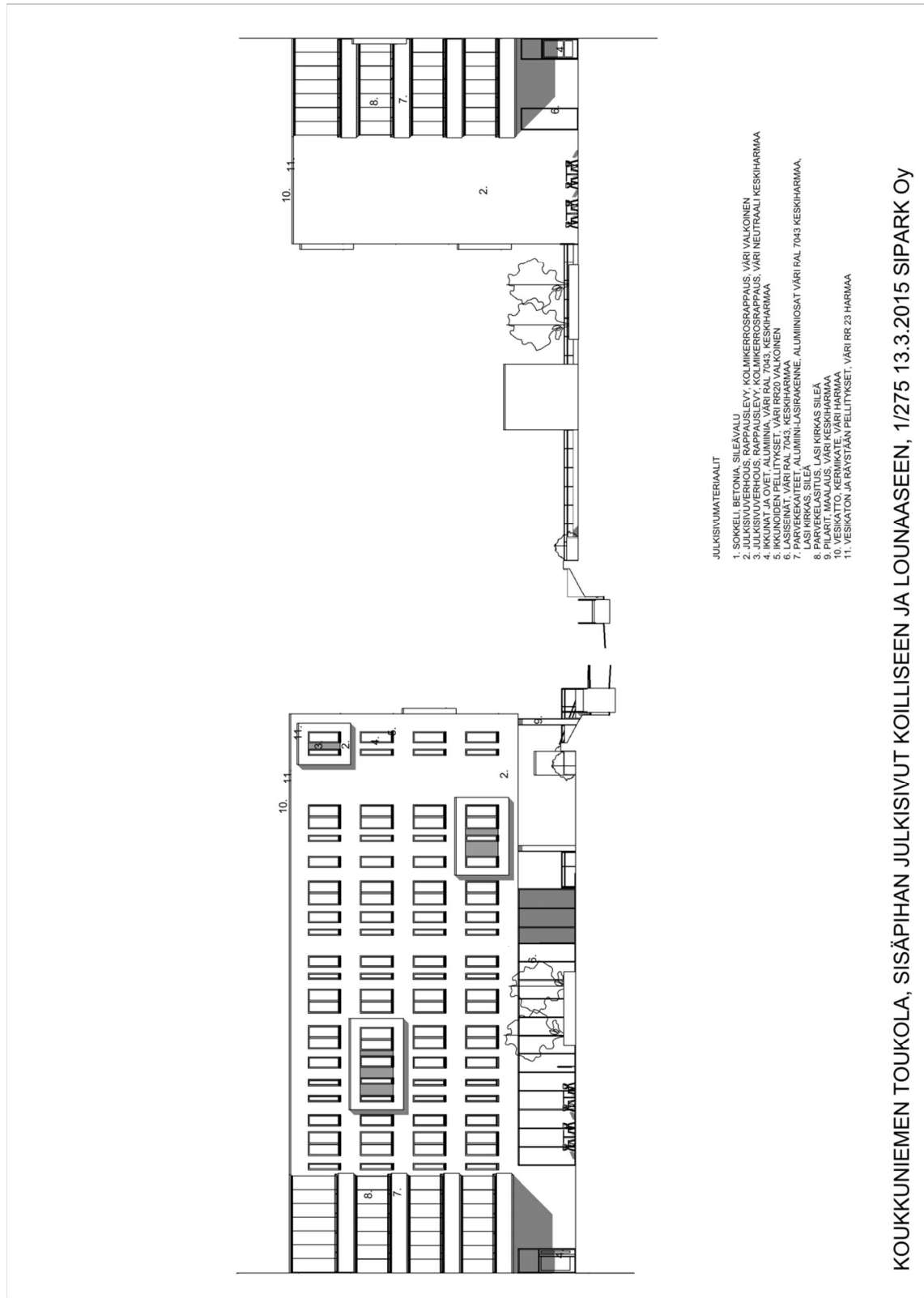
Kuva B.2. Koukkuniemen Toukola, julkisivu kaakkoon.



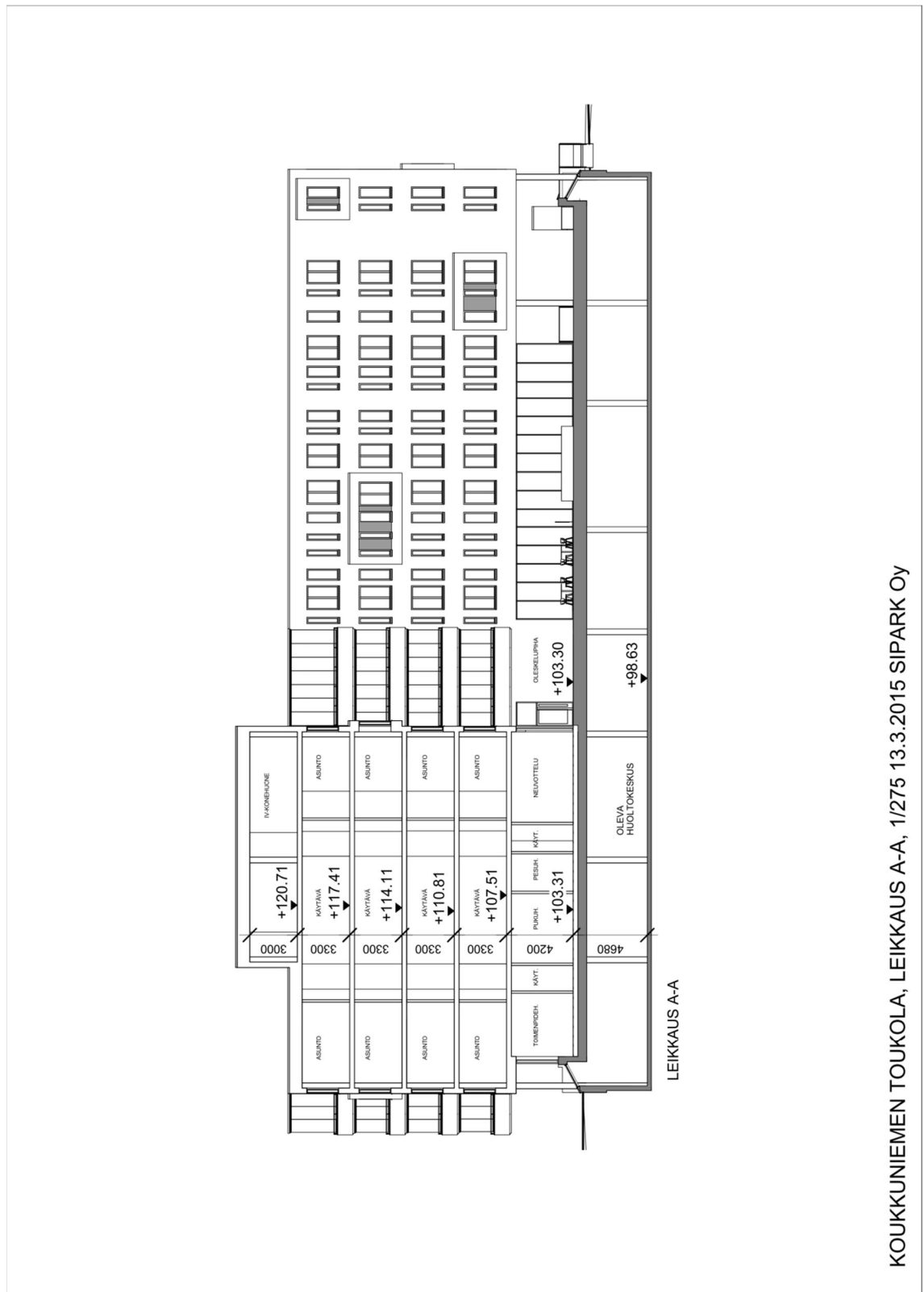
Kuva B.3. Koukkuniemen Toukola, julkisivu lounaaseen.



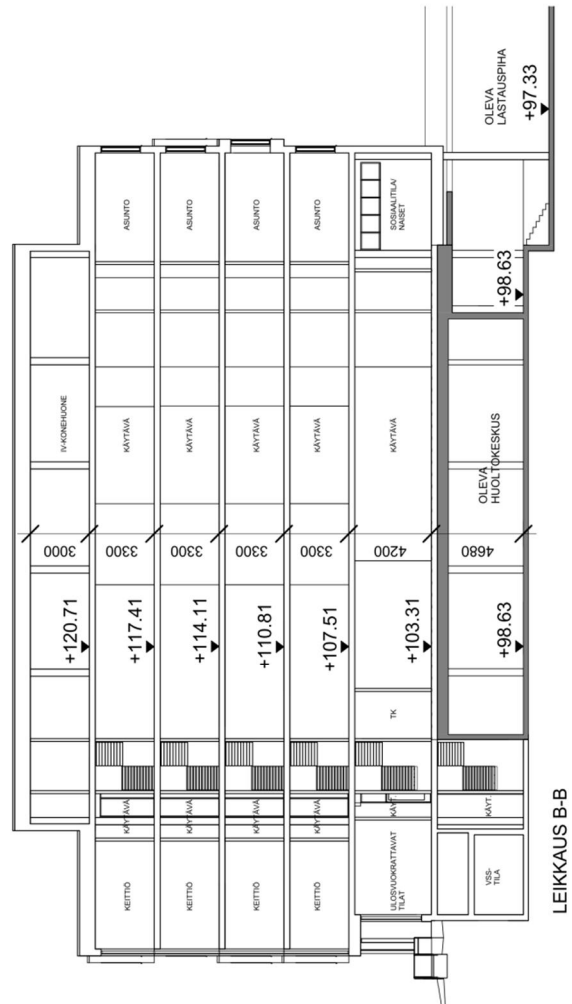
Kuva B.4. Koukkuniemen Toukola, julkisivu luoteeseen.



Kuva B.5. Koukkuniemen Toukola, sisäpihan julkisivut koilliseen ja luoteeseen.



Kuva B.6. Koukkuniemen Toukola, leikkaus A-A.



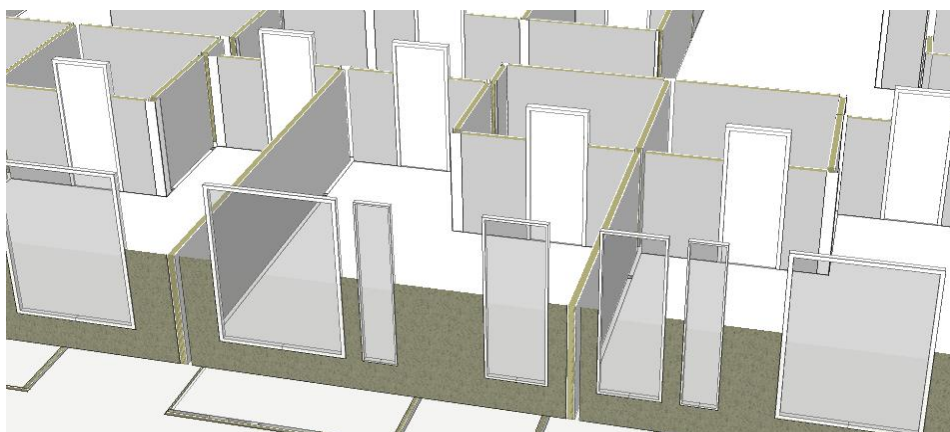
KOUKKUNIEMEN TOUKOLA, LEIKKAUS B-B, 1/275 13.3.2015 SIPARK Oy

Kuva B.7. Koukkuniemen Toukola, leikkaus B-B.

LIITE C: KESÄAJAN HUONELÄMPÖTILALASKENNAN LÄHTÖTIEDOT JA TULOKSET

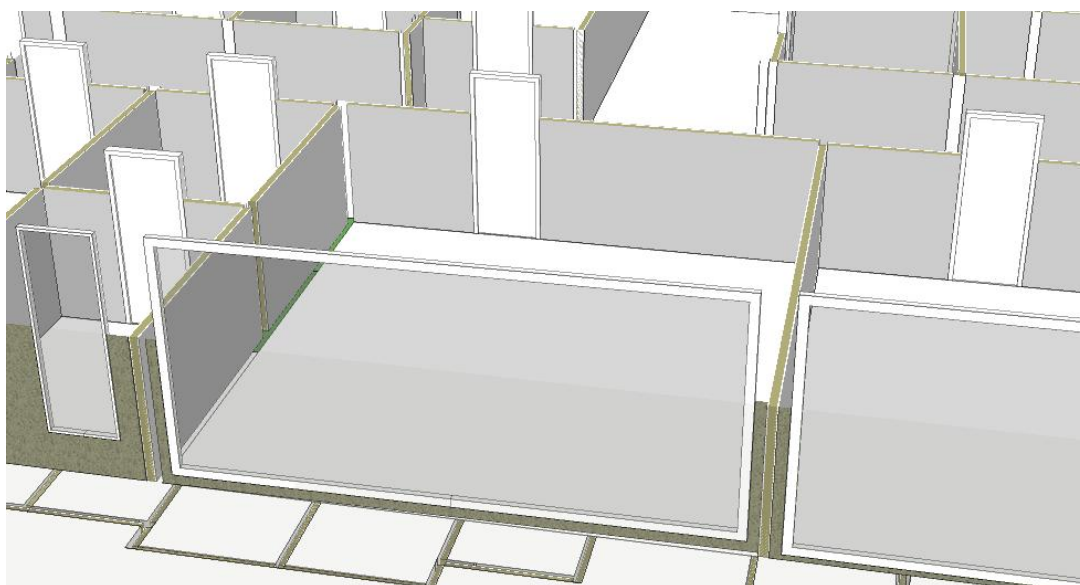
Taulukko C.1. Asuinhuoneen lähtötiedot.

Rakennuskohde							
Osoite	Rauhaniementie 19, 33180 Tampere						
Rakennuksen käyttötarkoitus	Palveluasuntola						
Tarkasteltavat tilat	5. kerros, asuinhuone						
Muoto							
Kuvaus	Arkkitehtipiirustukset 13.3.2015						
Ikkuna pinta-ala	5,5 m^2						
Ikkunan osuus lattiapinnasta	27,5 %						
Rakenne							
Rakennetyypit	Rakentamistääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Ikkuna							
– Tekniset arvot	1,0 W/m²K, g-arvo 0,38						
– Karmit	10 % ikkuna-aukosta						
– Verhot	Sälekaihtimet uloimassa lasivälissä, kiinni kesäjakson, 45°, koko ikkuna-aukko peitetty.						
– Tuuletusikkuna	Kiinni						
Ovi	Kiinni						
Passiivinen auringonsuojaus, parvekelasitus	Rakennuksen muoto ja naapurirakennukset huomioitu.						
Talotekniikka							
Ilmanvaihtojärjestelmä	Tuloilman jäähdytys						
Lämmön talteenoton ohjaus	Kesällä kiinni						
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo 15 °C						
Ilmavirta	Aina: + 1,5 l/s/m^2						
Tuloilman lämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+ 1 °C						
Lämmitysjärjestelmä	Radiaattorilämmitys						
Perusjärjestelmä	Kiinni kesäajaksolla						
Märkätilojen lämmitys	-						
Muut järjestelmät	-						
Sisäiset lämpökuormat							
Kuormat	Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Käyttötarkoitusluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	-	h/24h	d/7d	-	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14	4	4
Tarkastelu laadittu dynaamisella laskentatyökalulla.							
Kuva laskentamallista							



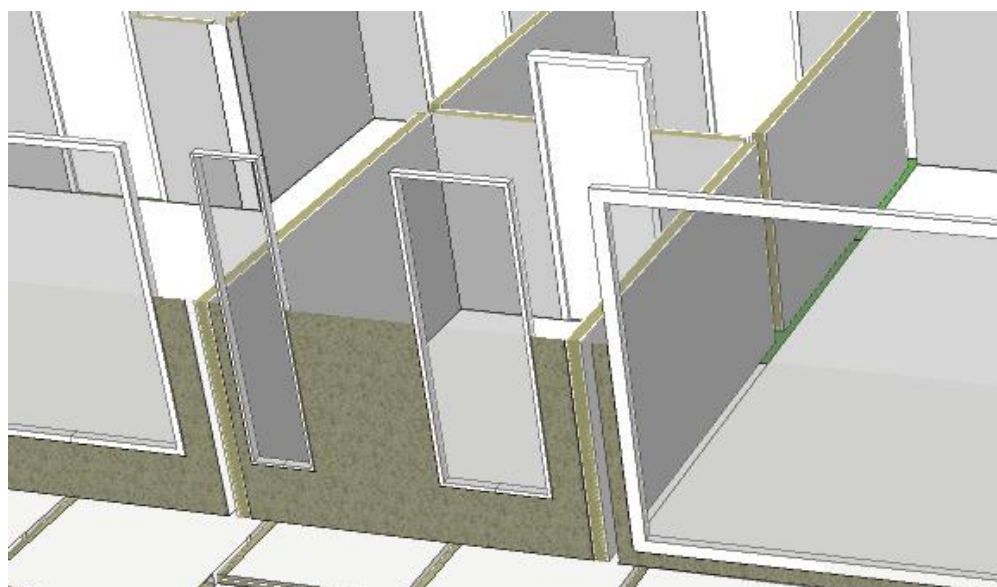
Taulukko C.2. Oleskelutilan lähtötiedot.

Rakennuskohde							
Osoite	Rauhaniementie 19, 33180 Tampere						
Rakennuksen käyttötarkoitus	Palveluasuntola						
Tarkasteltavat tilat	5. kerros, oleskelutila						
Muoto							
Kuvaus	Arkkitehtipiirustukset 13.3.2015						
Ikkuna pinta-ala	12,5 m ²						
Ikkunan osuus lattiapinnasta	41,7 %						
Rakenne							
Rakennetyypit	Rakentamistääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Ikkuna							
– Tekniset arvot	1,0 W/m ² K, g-arvo 0,38						
– Karmit	10 % ikkuna-aukosta						
– Verhot	Sälekaihtimet uloimmassa lasivälissä, kiinni kesäjakson, 45°, koko ikkuna-aukko peitetty.						
– Tuuletusikkuna	Kiinni						
Ovi	Kiinni						
Passiivinen auringonsuojaus, parvekelasitus	Rakennuksen muoto ja naapurirakennukset huomioitu.						
Talotekniikka							
Ilmanvaihtojärjestelmä	Tuloilman jäähdytys						
Lämmön talteenoton ohjaus	Kesällä kiinni						
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo 15 °C						
Ilmavirta	Aina: + 2,0 / -2,0 l/s/m ²						
Tuloilman lämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+ 1 °C						
Lämmitysjärjestelmä	Radiaattorilämmitys						
Perusjärjestelmä	Kiinni kesäjaksolla						
Märkätilojen lämmitys	-						
Muut järjestelmät	-						
Sisäiset lämpökuormat							
Kuormat	Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Vaikaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	-	h/24h	d/7d	-	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14	4	4
Tarkastelu laadittu dynaamisella laskentatyökalulla.							
Kuva laskentamallista							



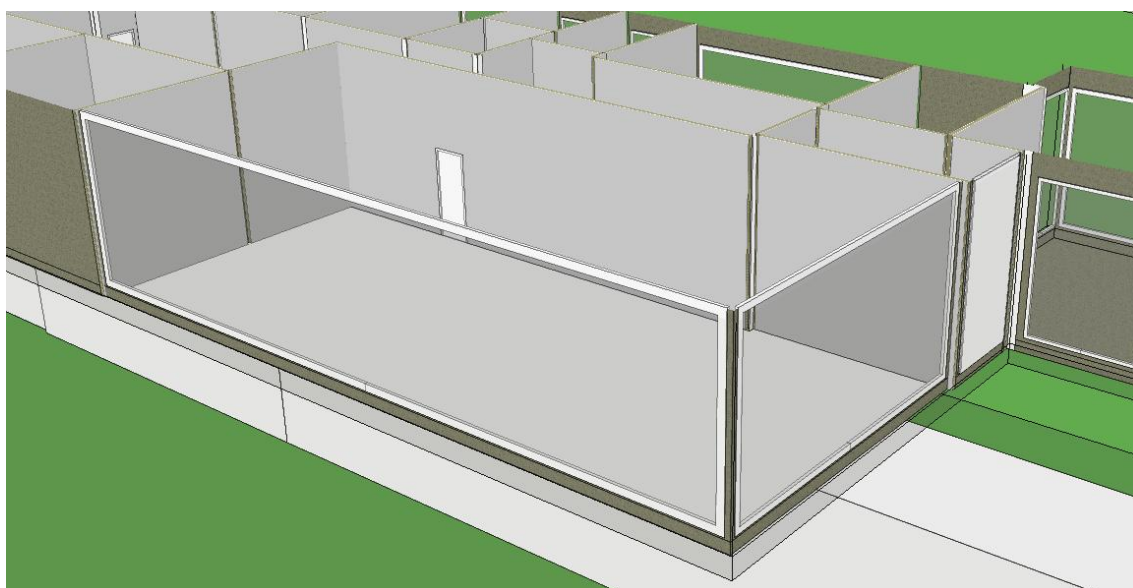
Taulukko C.3. Lääkejaon lähtötiedot.

Rakennuskohde							
Osoite	Rauhaniementie 19, 33180 Tampere						
Rakennuksen käyttötarkoitus	Palveluasuntola						
Tarkasteltavat tilat	5. kerros, lääkejako						
Muoto							
Kuvaus	Arkkitehtipiirustukset 13.3.2015						
Ikkuna pinta-ala	2,3 m^2						
Ikkunan osuus lattiapinnasta	38,3 %						
Rakenne							
Rakennetyypit	Rakentamistääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Ikkuna							
– Tekniset arvot	1,0 W/m²K, g-arvo 0,38						
– Karmit	10 % ikkuna-aukosta						
– Verhot	Sälekaihtimet uloimmassa lasivälissä, kiinni kesäjakson, 45°, koko ikkuna-aukko peitetty.						
– Tuuletusikkuna	Kiinni						
Ovi	Kiinni						
Passiivinen auringonsuojaus, parvekelasitus	Rakennuksen muoto ja naapurirakennukset huomioitu.						
Talotekniikka							
Ilmanvaihtojärjestelmä	Tuloilman jäähdytys						
Lämmön talteenoton ohjaus	Kesällä kiinni						
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo 15 °C						
Ilmavirta	Aina: + 1,5/-1,5 l/s/m^2						
Tuloilman lämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+ 1 °C						
Lämmitysjärjestelmä	Radiaattorilämmitys						
Perusjärjestelmä	Kiinni kesäjaksolla						
Märkätilojen lämmitys	-						
Muut järjestelmät	-						
Sisäiset lämpökuormat							
Kuormat	Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Käyttötarkoituluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	-	h/24h	d/7d	-	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14	4	4
Tarkastelu laadittu dynaamisella laskentatyökalulla.							
Kuva laskentamallista							



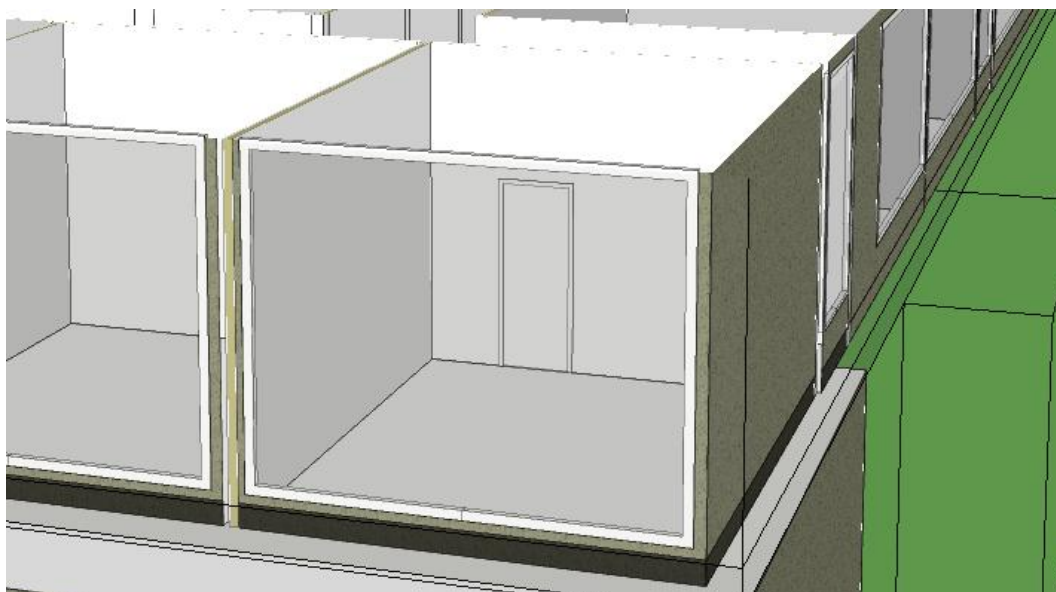
Taulukko C.4. Kirjaston lähtötiedot.

Rakennuskohde							
Osoite	Rauhaniementie 19, 33180 Tampere						
Rakennuksen käyttötarkoitus	Palveluasuntola						
Tarkasteltavat tilat	Pohjakerros, kirjasto						
Muoto							
Kuvaus	Arkkitehtipiirustukset 13.3.2015						
Ikkuna pinta-ala	76,7 m ²						
Ikkunan osuus lattiapinnasta	76,7 %						
Rakenne							
Rakennetyypit	Rakentamistääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Ikkuna							
– Tekniset arvot	1,0 W/m ² K, g-arvo 0,38						
– Karmit	10 % ikkuna-aukosta						
– Verhot	Sälekaihtimet uloimmassa lasivälissä, kiinni kesäjakson, 45°, koko ikkuna-aukko peitetty.						
– Tuuletusikkuna	Kiinni						
Ovi	Kiinni						
Passiivinen auringonsuojaus, parvekelasitus	Rakennuksen muoto ja naapurirakennukset huomioitu.						
Talotekniikka							
Ilmanvaihtojärjestelmä	Tuloilman jäähdytys						
Lämmön talteenoton ohjaus	Kesällä kiinni						
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo 15 °C						
Ilmavirta	Aina: + 1,5/-1,5 l/s/m ²						
Tuloilman lämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+ 1 °C						
Lämmitysjärjestelmä	Radiaattorilämmitys						
Perusjärjestelmä	Kiinni kesäjaksolla						
Märkätilojen lämmitys	-						
Muut järjestelmät	-						
Sisäiset lämpökuormat							
Kuormat	Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Käyttötarkoitusluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	-	h/24h	d/7d	-	W/m ²	W/m ²	W/m ²
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14	4	4
Tarkastelu laadittu dynaamisella laskentatyökalulla.							
Kuva laskentamallista							



Taulukko C.5. Hammashoidon lähtötiedot.

Rakennuskohde							
Osoite	Rauhaniementie 19, 33180 Tampere						
Rakennuksen käyttötarkoitus	Palveluasuntola						
Tarkasteltavat tilat	Pohjakerros, hammashoito						
Muoto							
Kuvaus	Arkkitehtipiirustukset 13.3.2015						
Ikkuna pinta-ala	12,0 m^2						
Ikkunan osuus lattiapinnasta	60,0 %						
Rakenne							
Rakennetyypit	Rakentamistääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Ikkuna							
– Tekniset arvot	1,0 W/m^2K, g-arvo 0,38						
– Karmit	10 % ikkuna-aukosta						
– Verhot	Sälekaihtimet uloimmassa lasivälissä, kiinni kesäjakson, 45°, koko ikkuna-aukko peitetty.						
– Tuuletusikkuna	Kiinni						
Ovi	Kiinni						
Passiivinen auringonsuojaus, parvekelasitus	Rakennuksen muoto ja naapurirakennukset huomioitu.						
Talotekniikka							
Ilmanvaihtojärjestelmä	Tuloilman jäähdytys						
Lämmön talteenoton ohjaus	Kesällä kiinni						
Jälkilämmityspatteri	Asetusarvo 15 °C						
Ilmavirta	Aina: + 3,0/-3,0 l/s/m^2						
Tuloilman lämpeneminen ilmanvaihtojärjestelmässä	+ 1 °C						
Lämmitysjärjestelmä	Radiaattorilämmitys						
Perusjärjestelmä	Kiinni kesäajaksolla						
Märkätilojen lämmitys	-						
Muut järjestelmät	-						
Sisäiset lämpökuormat							
Kuormat	Rakentamismääräyskokoelman osan D3 (2012) mukaisesti						
Käyttötarkoituusluokka	Kellonaika	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus	Kuluttajalaitteet	Ihmiset
	-	h/24h	d/7d	-	W/m^2	W/m^2	W/m^2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14	4	4
Tarkastelu laadittu dynaamisella laskentatyökalulla.							
Kuva laskentamallista							



Taulukko C.6. Kesäajan huonelämpötilan jäähdytystuntirajan astetuntiyliytykset.

Rakennuskohde		
Osoite	Rauhaniementie 19, 33180 Tampere	
Rakennuksen käyttötarkoitus	Palveluasuntola	
Kesäajan huonelämpötilan jäähdytysrajan astetuntiyliytys D3 (2012)		
Tarkasteltu tila	5. kerros, asuinhuone	
Astetunnit	79 °Ch	Raja-arvo 150 °Ch alittuu
Tarkasteltu tila	5. kerros, oleskelutila	
Astetunnit	8 °Ch	Raja-arvo 150 °Ch alittuu
Tarkasteltu tila	5. kerros, lääkejako	
Astetunnit	27 °Ch	Raja-arvo 150 °Ch alittuu
Tarkasteltu tila	Pohjakerros, kirjasto	
Astetunnit	0 °Ch	Raja-arvo 150 °Ch alittuu
Tarkasteltu tila	Pohjakerros, hammashoito	
Astetunnit	0 °Ch	Raja-arvo 150 °Ch alittuu

LIITE D: LIUOSLAUHDUTTEISEN JÄRJESTELMÄN MITOITUS



28/7/2015

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Petra Mäkelä

Kylmävesiasema vapaajäähdytyksellä CGIW-ECO

Valinta: CGIW-56-4D-V8R-P1-P2-P3-WC-ECO-WO-R410A-NR-NS-VN-CE1-B-SN-CT0-PH-PL-EQN

Suoritusarvot (Kylmäaine R410a, likaantumiskerroin 0,044 m ² K/kW)								
Jäähdytysteho	217,5							kW
Virtaama	7,43							l/s
Painehäviö	31,2							kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	17,0 / 10,0							°C
Lauhdeteho	267,6							kW
Virtaama	8,85							l/s
Painehäviö	26,4							kPa
Nesteen (etyleeniglykoli 35 %) lämpötila (tuleva/lähtevä)	35,1 / 43,0							°C
Tehonsäätö	0/22/50/72/100							%
Vapaajäähdytys								
Teho	39							kW
Ulkoilman mitoituslämpötila	7,0							°C
Lähtevän nesteen lämpötila (jäähdytyspiiri)	11							°C
Sähkötiedot								
Liitäntä	400-50-3							V/Hz/Ph
Kompressorien ottoteho valinnan olosuhteissa	52,7							kW
Kompressorien käyntivirta valinnan olosuhteissa	96,8							A
Koneikon ja nestejäähdyttimen maksimi liitäntäteho ⁴	89,9							kW
Koneikon ja nestejäähdyttimen yhteinen etusulake	160							A
Mittatiedot								
Rahtipaino / toimintapaino	2374 / 3204							kg
Kylmäainemäärä	24							kg
Pituus x leveys x korkeus	900 x 3450 x 1950							mm
Ääni								
Kokonaistehotaso ¹	86							dB(A)
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	37	60	70	72	81	73	60	dB
Painetaso ²	29	52	62	64	73	65	52	dB
Nestejäähdytin (Malli CDMA-15212-430-2.5-65-59)								
Teho	268,0							kW
Ilman lämpötila (tuleva/lähtevä)	30 / 38							°C
Nesteen lämpötila (tuleva/lähtevä)	43,0 / 35,1							°C
Nesteen virtaama	8,85							l/s
Painehäviö	59,3							kPa
Äänitaso 10m etäisyydellä	41							dB(A)
Optimointikeskus Ecotronic								
Tuotemalli	AS-2-6-15							

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹ Valinnan mukaiset vaimennukset huomioitu² Painetaso laskettu puoliavaruudessa 1 m etäisyydellä⁴ Suurpainepuolen suunnittelulämpötilassa 65 °C

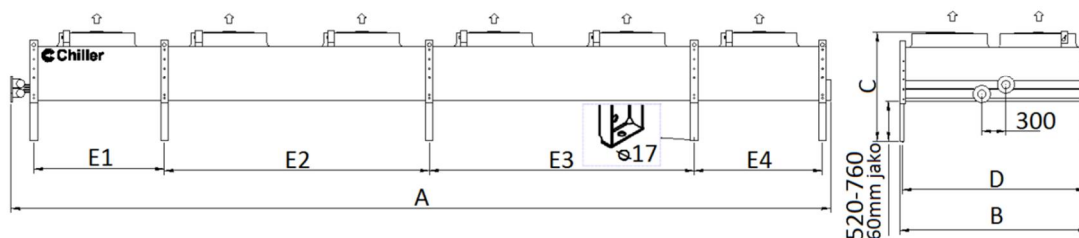
► Innovative cooling, heating and energy solutions

www.chiller.fi

Kuva D.1. Liuoslauhdutteen järjestelmän mitoitus tiedot [29].



28/7/2015
Nestejäähdytin CDMA-15212-430-2.5-65-59



Mitat (mm). A, B ja C äärimittoja, muut jalkojen reikien keskeltä keskelle.

Tyyppi / Type / Typ	A	B	C	D	E1	E2	E3	E4
926/1026	5702	2328	1470-1710	2280	1775	3545	0	0
1128/1228	6902	2328	1470-1710	2280	3275	3245	0	0
13210/14210	8565	2328	1470-1710	2280	1625	3300	3245	0
15212/16212	10217	2328	1470-1710	2280	1625	3300	3300	1595

Suoritusarvot	Kesä	Talvi	
Teho	267,6	39,0	kW
Ilmamäärä	28,6		m ³ /s
Patterille tuleva ilma	30,0	7,0	°C
Patterilta lähtevän ilman lämpötila	38,3	8,1	°C
Nesteen lämpötila tuleva	43,0	9,0	°C
Nesteen lämpötila lähtevä	35,1	7,8	°C
Nesteen virtaama	8,9	8,1	l/s
Nesteen painehäviö	59,3	71,1	kPa
Neste	etyleeniglykoli 35 %		
Äänen painetaso ¹	41		dB(A)

Lämmönsiirto-osa		Puhallintiedot	per puhallin	yht	
Lämmönsiirtopinta-ala	1569 m ²	Puhallinmäärä	2 x 6		kpl
Lamellijako	2,5 mm	Kierrosluku	430		rpm
Sisätilavuus	277,0 l	Sähköteho	0,21	2,52	kW
Paino tyhjänä	1687,0 kg	Vaihevirta (nim/max)	0,7 / 0,8	7,8 / 9,6	A
Kokoojan liitännä	65 DN	Jännite	400		V

Ääni								
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	71.0	69.0	65.0	68.0	66.0	58.0	50.0	dB
Painetaso ¹	51.0	41.0	31.0	29.0	26.0	20.0	18.0	dB

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹ Äänitaso 10m etäisyydellä

Innovative cooling, heating and energy solutions

www.chiller.fi

Kuva D.1. (jatkuu).

LIITE E: JÄRVIVESILAUHDUTTEISEN JÄRJESTELMÄN MITOITUS



30/7/2015

Asiakas:
Kohde:
Tunnus:

Valinnan laskija: Petra Mäkelä

Kylmävesiasema vapaajäähdityksellä CGIW-ECO

Valinta: CGIW-48-4D-V8R-P1-P2-P3-WC-ECO-WO-R410A-NR-NS-VN-CE1-B-SN-CT0-PH-YL-EQN

Suoritusarvot (Kylmäaine R410a, likaantumiskerroin 0,044 m ² K/kW)								
Jäähdysteho	210,3							kW
Virtaama	7,18							l/s
Painehäviö	36,9							kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	17,0 / 10,0							°C
Lauhdetehto	247,5							kW
Virtaama	11,93							l/s
Painehäviö	57,3							kPa
Nesteen (vesi) lämpötila (tuleva/lähtevä)	30,0 / 35,0							°C
Tehonsäätö	0/25/50/75/100							%
Vapaajäähditys								
Teho								kW
Ulkoilman mitoituslämpötila								°C
Lähtevän nesteen lämpötila (jäähdityspiiri)								°C
Sähkö tiedot								
Liitântä	400-50-3							V/Hz/Ph
Kompressorien ottoteho valinnan olosuhteissa	39,2							kW
Kompressorien käyntivirta valinnan olosuhteissa	78,4							A
Koneikon maksimi liitântäteho ⁴	76,2							kW
Etusulakkeen koko	160							A
Mittatiedot								
Rahtipaino / toimintapaino	2077 / 2902							kg
Kylmäainemäärä	18							kg
Pituus x leveys x korkeus	900 x 3450 x 1950							mm
Ääni								
Kokonaistehotaso ¹	79							dB(A)
Taajuus	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
Tehotaso	35	46	67	71	74	71	62	dB
Painetaso ²	27	38	59	63	66	63	54	dB

TEKNINEN VALINTA

Chiller Oy pidättää oikeuden muutoksiin

¹Valinnan mukaiset vaimennukset huomioitu²Painetaso laskettu puoliavaruudessa 1 m etäisyydellä⁴Suurpainepuolen suunnittelulämpötilassa 65 °C

► Innovative cooling, heating and energy solutions

www.chiller.fi

Kuva E.1. Järvivesilauhdutteen järjestelmän mitoitus tiedot [29].

Kytentäkaavio : LS-31L Jäähdytyslämmönsiirrin
 Kohde : lämmönsiirrin

LÄMMÖNSIIRTIMET**JÄÄHDYTYS****XG31L-1-96_2E_16_A**

Lämmönsiirintyyppi

PED-Luokka

:

II

Lämpöteho

[kW]

300

ensiö toisio

Tilavuusvirta

[l/s]

14,34 14,39

Tulolämpötila

[°C]

10 35

Paluulämpötila

[°C]

15 30

Painehäviö

[kPa]

19 20

LMTD

[°C]

20,0

FYYSISET TIEDOT

Elementtien lkm

:

48 47

Vesitilavuus/siirrin

[l]

17,76 17,39

Ylimäär. lämpöpinta

[%]

0,00

Lämmönsiirto pinta-ala

[m²]

13,27

Siirtimen paino

[kg]

253

AINEARVOT

Virtausaine ensiö

:

Vesi

Virtausaine toisio

:

Vesi

Ominaislämpö

[kJ/kgK]

4,189 4,179

Tiheys

[kg/m³]

999,3 996,8

Dynaaminen viskositeetti

[mNs/m²]

1,234 0,867

Lämmönjohtavuus

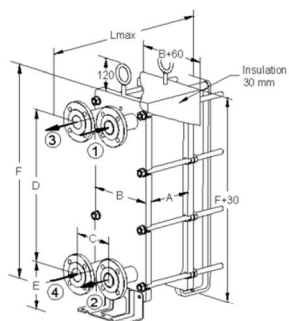
[W/mK]

0,585 0,608

ULKOMITAT

mm

A	B	C	D	E	F	Lmax
355	370	150	665	205	990	1600



1. Toisio paluu

Laippa DN65, PN16, l=280, St, (Standardiyhde)

2. Toisio meno

Laippa DN65, PN16, l=280, St, (Standardiyhde)

3. Ensiö paluu

Laippa DN65, PN16, l=180, St, (Standardiyhde)

4. Ensiö tulo

Laippa DN65, PN16, l=180, St, (Standardiyhde)

Kuva E.2. Lämmönsiirtimen 2 mitoitus [33].

LIITE F: KAUKOJÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN MITOITUS

Tarjous TeemuSavolainen-000691 ver. 1
Merkki Toukola

Päivä 03.08.2015
Sivu 3 / 4

HögforsGST Oy		LÄMMÖNJAKOKESKUKSEN LAITTEIDEN MITOITUS	
Tarjousnumero: TeemuSavolainen-000691		Tuoteryhmäkoodi: GST-1	
Kohteen osoite: Toukola			
KESKUKSEN PN luokka (ensiö)	PN16	KYTKENTÄKAAVIO: 1p - LÄ	
LÄMMÖNSIIRTIMET	Yksikkö	JÄÄHDYTYS 1	
Valmistaja		HögforsGST /	
Malli		GCD-044-M-5-PR-58	
Teho	kW	203	
		Ensiö	Toisio
Virtaus	l/s	6.06	6.93
Lämpöhäviöt	°C-°C	8 - 16	17 - 10
Painehäviöt	kPa	25.80	29.80
Suunnittelupaine	MPa	1.6	1.6
Virtaava-aine		Vesi	Vesi
Rakenneaine EN10028/7-			
Tilavuus (ensiö/toisio)	l		
SÄÄTÖKESKUS			
Valmistaja			
Malli		Ei säädintä	
SÄÄTÖVENTTIILIT		JÄÄHDYTYS 1	
Valmistaja		SIEMENS	
Malli		VVF53.25-8 / VVF53.40-25	
Virtaus	l/s	6.06	
Painehäviöt	kPa	43.70	
Koko/kvs-arvo	DN/kvs	25 / 40	8 / 25
SÄÄTÖMOOTTORIT		JÄÄHDYTYS 1	
Valmistaja		SIEMENS	
Malli		SAX619.03 / SKB60	
PAINE-EROSÄÄDIN			
Valmistaja		Toiminnot:	
Malli		Asennuspaikka:	
Virtaus	l/s	-	
Painehäviöt	kPa	-	
Koko/kvs-arvo	DN/kvs	-	
PUMPUT		JÄÄHDYTYS 1	
Valmistaja		WILO	
Malli		DP-E 40/120-1,5/2-R1	
Virtaus / LKV %	l/s	6.93	
Nostokorkeus	kPa	59.8/122.9	
Nimellisvirta / Jännite	kW/A / V	1.5/5.2	400
Kpl / käyttötarkoitus		1kpl (100 %)	
Pumpun varasarja			
OHJAUSKESKUS		Pumppuohjauskeskus Std/K-2, (2:lle pumpulle; kontaktorein)	
PAISUNTA- JA VAROLAITTEET		JÄÄHDYTYS 1	
Verkon tilavuus	dm³/kPa		
Paisuntasäiliön tilavuus/esipaine	dm³/kPa		
Varoventtiilin koko/avautumispaine	DN/kPa		
PUTKIKOOT JA LIITÄNNÄT			
ensiö		JÄÄHDYTYS 1	
65		80	
PED-luokka			
	3		
Keskuksen paine-ero ilman paine-erosäädintä [kPa]		73.50	
Keskuksen paine-ero sis. paine-erosäätimen [kPa]		-	
Käytettävissä oleva paine-ero kaukolämpöverkossa [kPa]			
Energialaitoksen hyväksyntä:			



Kuva F.1. Kaukokylmänjakokeskuksen mitoitus tiedot [41].

Tarjous TeemuSavolainen-000691 ver. 1
 Merkki Toukola

Päivä 03.08.2015
 Sivu 4 / 4

KOMPONENTTILUETTELO

Siirtimet

LS2 GCD-044-M-5-PR-58

Säädin

TC Ei säädintä

Venttiilit

TV2.1 SIEMENS VVF53.25-8
 TV2.2 SIEMENS VVF53.40-25

Moottorit

TV2.1 SIEMENS SAX619.03
 TV2.2 SIEMENS SKB60

Pumput

P2 WILO DP-E 40/120-1,5/2-R1

Pumppuohjauskeskus

Pumppuohjauskeskus Std/K-2, (2:lle pumpulle; kontaktorein)

Yleiset varusteet

Tippakaukalo

Ensiö varusteet

Sulku tulo ja paluu (2x Sulkuventtiili DN65 WH)
 Anturi PT1000 RST-taskulla ,lämmitykseen
 lämpömittari 0-30°C

JÄÄHDYTYS 1 varusteet

Sivuvirtasuodatin (Sivuvirtasuodatin PartiVec 10" + 3kpl suodatinpatruuna, 50 mikronia)
 Ilmauskoneen yhteen (Ilmauskoneen yhteen 2 kpl DN 20 RG ms)
 Paisunnan huoltosulku (huoltosulku paisuntahaaraan, 2-tie, DN 25)
 Sulkuventtiili paluu (Sulkuventtiili DN80 WH)
 Linjasäätöventtiili meno (Kertasäätöventtiili DN80 WH)
 Täyttöventtiili (Täyttöventtiili DN15)
 PI (Painemittari 1/2x100 0-6 bar)
 PE (Painelähetin VPL 16)
 2 x Anturi PT1000 RST-taskulla ,lämmitykseen
 Ilmanerottaja AIRVEC EXTRA DN 80 WH, PN10
 Paine-erolähetin VPEL 4.0/6
 Paineenmittaus 2-pisteestä, alue 0-6 bar
 Paineenmittaus 4-pisteestä, alue 0-6 bar
 Varoventtiili R3/4 4,0bar
 Varoventtiili R3/4 4,0bar
 lämpömittari 0-30°C, 2 kpl



Kuva F.1. (jatkuu).